Das populäre Magazin für Astronomie und Raumfahrt

Mai/Juni 2003
€ 5,50 / 10,90 sFr

ASTRONOMIE HEUTE

SKY & TELESCOPE
DEUTSCHE AUSGABE

WWW.ASTRONOMIE-HEUTE.DE

EINFÜHRUNGSPREIS € 5,50

GALAXIEN

KOSMISCHE DREHSCHEIBEN

Wie Spiralgalaxien in Form kommen

SOLAR-STELLAR-CONNECTION
Röntgenbilder der Sonne

TESTBERICHT
Sternsuche mit dem neuen Meade LXD55

RAUMFAHRT: Nach der Columbia-Katastrophe
PLANETARIUM: Mond- und Sonnenfinsternis, Merkurtransit **DEEP SKY:** Verblasste Giganten
KIPPENHAHNS STERNSTUNDE: Heavy Metal

D60463

02

4 196046 305509

Reinhard Breuer
Chefredakteur

Geplatzte Träume

Wollten Sie als Jugendlicher nicht auch mal Fußballer oder Rennfahrer werden – oder Astronaut? Und schwerelos um die Erde kreisen, vielleicht gar Ihren Fuß auf Mond oder Mars setzen?

Beim Absturz der Raumfähre »Columbia« sind alle sieben Astronauten ums Leben gekommen – damit ist der Traum vom Menschen im All als höchst gefährlich entlarvt. »Runter kommen sie immer« heißt es von Flugzeugen; nicht zum ersten Mal gilt das auch für Raumfahrer. Mit diesem tragischen Unfall wurde uns allen schlagartig klar, was wir gerne verdrängt haben: Der Weltraum verzeiht nichts, seine »Eroberung« bleibt ein Unternehmen mit Extremrisiko und zweifelhaftem Ergebnis. Natürlich feiert die Raumfahrt atemberaubende Triumphe: Mit ihr können wir global kommunizieren, überall unseren Standort bestimmen, die Erde für Zwecke der Klima- oder Umweltforschung beobachten, den Himmel in allen Bereichen der sichtbaren und unsichtbaren Strahlen erkunden. Kein Astronom oder Kosmologe kann heute mehr auf die Resultate der Raumfahrt verzichten.

NASA

Die verunglückte Crew der Columbia

Aber brauchen wir dafür wirklich die bemannte Raumfahrt? Die Basis legten nämlich vor allem unbemannte Raketen, die Teleskope, Satelliten, Sonden und Roboter ins All schießen. Kritiker der bemannten Raumfahrt haben schon immer Roboter statt Menschen empfohlen. Oder sind leibhaftige Menschen doch unverzichtbar? Constance Adams, verantwortlich für die Experimente auf der »Columbia« sagt dazu: »Was Roboter nicht können, ist: denken. Mit Robotern hätten wir siebzig Prozent unserer Experimente gar nicht durchführen können.« Die »Times« dagegen fragte: »Musste Israels Astronaut Ilan Ramon wirklich dabei sein, um ein paar Knöpfe an dem Mittelmeer-Israel-Staub-Experiment zu drücken, für dessen Begleitung er im All starb?«

Um so schwerwiegender ist es dann, wenn auch die unbemannte Raumfahrt in Nöten steckt. Wegen des Fehlstarts der Ariane-5-Rakete im letzten Dezember liegt das Programm der Europäischen Raumfahrtorganisation Esa am Boden: Erstes Opfer war der Satellit »Rosetta«, der den Kometen Wirtanen anfliegen sollte. Auch die Raumstation ISS wird derzeit nur noch mit drei Leuten betrieben; Grund dafür ist Geldmangel. Das Columbia-Unglück verzögert den weiteren Ausbau der erst zu sechzig Prozent fertig gestellten Raumstation. Ein Nasa-Berater: »Die ISS ist kein Ziel, sie ist ein Werkzeug, aber ein Werkzeug wofür?«

Die Zukunft der Raumfahrt, der bemannten wie der unbemannten, steht – auch wenn es irgendwann wieder weitergeht – derzeit in den Sternen. Wir brauchen die Raumfahrt – aber eigentlich nur die unbemannte.

Ihre Meinung ist uns wichtig – nicht nur zu diesem Thema. Schreiben Sie uns, schicken Sie Ihren Leserbrief bitte per E-Mail an ah@spektrum.com oder mit der Post an ASTRONOMIE HEUTE, Postfach 10 48 40, D-69038 Heidelberg.

ANZEIGE

INHALT

Astro-News 8
Roter Flitzer, Schnee auf dem Mars, Ferner Planet verdampft u. a.

▶ **Mission Update** 16
Ernst Messerschmid zur Columbia, Sicherer ins All, Pioneer 10 u. a.

▶ **Das Rätsel der kosmischen Drehscheiben** 18
So entstehen die leuchtenden Spiralarme der Galaxien

Auf der Suche nach kosmischer Wärme 26
Countdown für das Nasa-Weltraumteleskop SIRTF

▶ **Solar-Stellar-Connection** 32
Was Sonne und Fixsterne gemeinsam haben

Kaleidoskop 40
Juwelen der südlichen Krone

SKYLINE

Highlights am Himmel 42
Saturnring mit zwei Farben

▶ **Fokus** 46
Sonnenfinsternis am 31. Mai

▶ **Planetarium** 47
Merkurtransit, Mondfinsternis

Sterntafel 50
Der Nachthimmel im Frühsommer

Feldstechertipp 51
Jupiter und die Krippe

Kleinteleskope 52
Asteroid Vesta in der Jungfrau

▶ **Deep Sky** 54
Verblasste Giganten

Schauplatz Mond 56
Gasausbrüche auf Aristarchus

SZENE

Mein Favorit am Himmel 58
Ein Planet – da, wo er hingehört

Newcomer 60
Interview mit Stefanie Komossa

Titelbild: NGC 1232 im Sternbild Eridanus. Mit freundlicher Genehmigung der Eso.

Die auf der Titelseite angekündigten Themen sind mit ▶ gekennzeichnet

Die Sonne – ein Modellstern?

Wer das Geschehen auf der Sonne versteht, lernt viel über die Fixsterne – und umgekehrt.

32

NASA / ESA

Kosmische Drehscheiben

Astrophysiker wetteifern um die Erklärung für galaktische Spiralarme

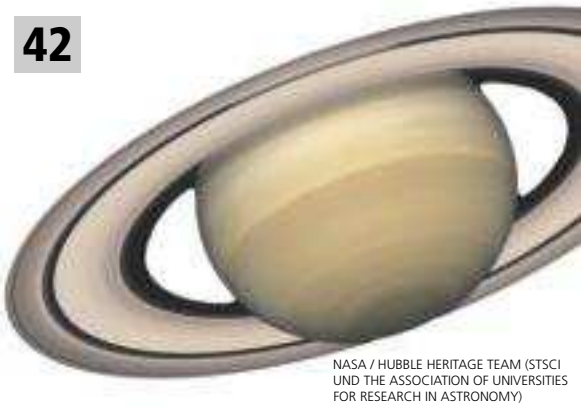
18

EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY

Saturns farbiges Geheimnis

Auch Amateure können helfen, das Rätsel des Ringplaneten zu lösen

42



NASA / HUBBLE HERITAGE TEAM (STSCI UND THE ASSOCIATION OF UNIVERSITIES FOR RESEARCH IN ASTRONOMY)

Das vierte der großen Weltraumteleskope

Startklar: SIRTF sieht die Milchstraße noch schärfer – infrarot!

26

JOHN CARPENTER (CALTECH), ROBERT HURT (IPAC), MICHAEL SKRUTSKIE (UMASS)

INHALT

SZENE

Events 62

▶ Kippenhahns Sternstunde 64
Heavy Metal

TIPPS&TOOLS

Neuheiten 66

Glanzlichter 68

▶ Testreport 74
Die Meade-LXD55-Serie im Test

Teleskoptechnik 80
Newton-Teleskope kollimieren

Astrofotografie 84
Videojagd auf die Raumstation

Bücher 88
Das Auge Gottes u. a.

Astronomie Online 90
Webseiten für Einsteiger

Editorial 3

Krupps Corner 92
Zuflucht vor dem Sonnenwind

Preisrätsel 96

Kleinanzeigen 96

Vorschau / Impressum 98

S&T / CRAIG MICHAEL UTTER

74

Starter-Kits

Hält die lang erwartete und speziell für Einsteiger konzipierte neue LXD55-Teleskop-Serie von Meade, was sie verspricht? ASTRONOMIE HEUTE hat sie getestet

84

JOSEF HUBER UND TOBIAS LINDEMANN

Videojagd auf die ISS

Amateure machen mit ihrer Videokamera Jagd auf die Raumstation. Wer die Dreharbeiten sorgfältig plant, wird mit detailreichen Aufnahmen belohnt

92

Sturm im Weltraum

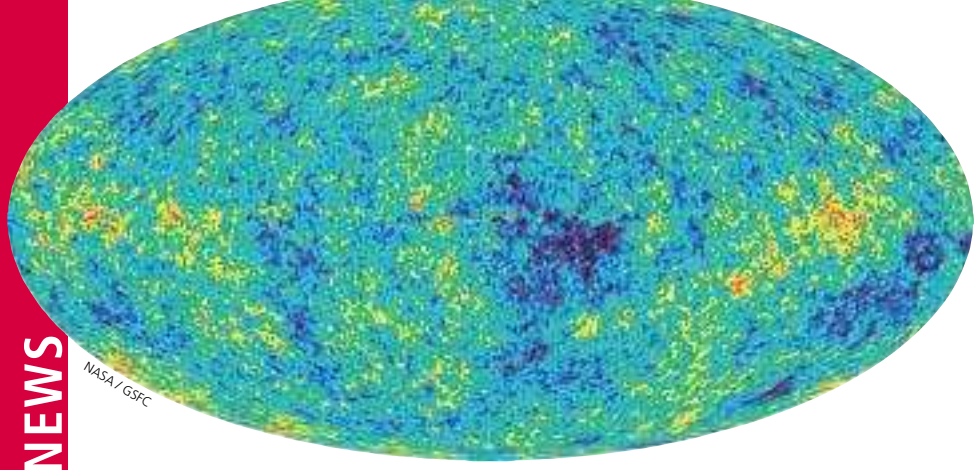
Ein scharfer Wind fegt durch unser Sonnensystem. Das Erdmagnetfeld schützt uns vor seinen energiereichen Teilchen

MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON MICHAEL KLENSCH

VERLOSUNG:

Launch-Party von ASTRONOMIE HEUTE!

Feiern Sie mit uns den erfolgreichen Start von ASTRONOMIE HEUTE! Zwei unserer Leser laden wir am 11. Juli 2003 herzlich zur offiziellen Launch-Party nach Heidelberg ein. Bahnfahrt und Hotelübernachtung übernehmen wir. Neben Rudolf Kippenhahn treffen Sie hier auch unsere Freunde von Sky & Telescope!
Schicken Sie bis zum 18. Mai 2003 eine E-Mail an launchparty@astronomie-heute.de oder eine Postkarte (Stichwort »Launch-Party«) an: Spektrum der Wissenschaft · Postfach 10 48 40 · D-69038 Heidelberg. Es entscheidet das Los. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.



Das Universum 380 000 Jahre nach dem Urknall zeigt diese Aufnahme der kosmischen Hintergrundstrahlung. Temperaturunterschiede sind farbig gekennzeichnet und verraten die damalige Struktur des Kosmos. Blaue, kältere Regionen sind der Ursprung von Galaxienhaufen; aus roten, wärmeren Gebieten entstand leerer Raum.

KOSMOLOGIE

Nachrichten aus dem jungen Universum

Das Universum ist 13,7 Milliarden Jahre alt, fand jetzt der Nasa-Satellit »Wilkinson Microwave Anisotropy Probe« (WMAP) heraus. Viel früher als bisher angenommen gingen im Kosmos die Lichter an: Zur Überraschung der Forscher zündete bereits 200 Millionen Jahre nach dem Urknall die Kernfusion in den ersten Sternen.

Für Kosmologen sind die hochpräzisen WMAP-Daten ein Geschenk des Himmels, steigern sie doch die Zuverlässigkeit, mit der sie sowohl Aussagen über die Frühzeit des Universums als auch über seinen jetzigen Zustand treffen können. So bestimmten sie beispielsweise die Masseverteilung (und damit gleichzeitig die Energieverteilung) im Kosmos: »Normale« Materie, Atome also, macht gerade einmal vier Prozent der gesamten Masse aus. Die unsichtbare und noch rätselhafte »Dunkle Materie« steuert dagegen 23 Prozent bei, und »Dunkle Energie«, eine Art Anti-Schwerkraft, bildet die restlichen 73 Prozent.

WMAP hat eine optimale Sicht ins All. In 1,5 Millionen Kilometer Entfernung von unserem Planeten geparkt – von der Sonne aus gesehen hinter ihm – liegen Sonne, Mond und Erde fast immer außerhalb seines Gesichtsfelds. Störende Einflüsse durch die Mikrowellenstrahlung der Erde sind hier gering. WMAP misst die Variationen von Temperatur und Polarisation der kosmischen Hintergrundstrahlung. Weil diese Mikrowellenstrahlung eine Art Nachglühen des Urknalls ist, lässt ihre Struktur Rückschlüsse auf das junge Universum zu.

Mithilfe der neuen Daten lässt sich auch die räumliche Geometrie des Kosmos und damit dessen Schicksal bestimmen. Stürzt das seit dem Urknall expandierende Universum eines fernen Tages wieder in sich zusammen oder beschleunigt es seine Ausdehnung sogar noch? WMAP kam, wie schon andere Messungen in den vergangenen Jahren, zu dem Ergebnis, dass der Raum im Universum weder positiv noch negativ gekrümmt, sondern vielmehr flach ist. Das heißt nichts anderes, als dass unsere Schulgeometrie auch über kosmische Dimensionen hinweg gilt und bedeutet gleichzeitig, dass sich der Kosmos auf ewig ausdehnen wird, wenn auch mit der Zeit immer langsamer. >> tk

http://map.gsfc.nasa.gov

Integral, der europäische Gamma-Satellit, nahm diesen Burst (Ausschnitt) am 25. November 2002 mit der »Ibis«-Kamera auf.

GAMMA-RAY-BURSTS

Explodierende Riesensterne und kollidierende Schwarze Löcher

Eine neue Analyse von rund 2000 Gammastrahlungsausbrüchen (»GRBs«) zeigt, dass sich hinter diesen mysteriösen »Bursts« zwei völlig verschiedene astrophysikalische Prozesse verbergen. Wie ein Team von Astronomen aus den USA und Europa jetzt zeigen konnte, weist der Intensitätsverlauf der Strahlungsausbrüche deutliche Unterschiede auf, je nachdem, ob der Ausbruch kürzer oder länger als zwei Sekunden dauert. Die kurzen Ausbrüche werden nach Ansicht der Forscher durch die Explosion von Riesensternen verursacht, die mehr als die dreißigfache Masse der Sonne enthalten. Dagegen künden längere Ausbrüche vermutlich von der Kollision zweier Neutronensterne oder Schwarzer Löcher.

Gamma-Ray-Bursts sind die energiereichsten Ereignisse im Universum. Sie dauern zwar nur Sekundenbruchteile bis einige Sekunden, strahlen in dieser Zeit aber mehr Energie ab als eine Milliarde Milliarden Sonnen. Ein oder zwei der Strahlungsschauer aus den Tiefen des Alls treffen unsere Erde jeden Tag. Ihr Ursprung liegt in weit entfernten Galaxien. Die Autoren der neuen Analyse hatten Daten des amerikanischen Compton Gamma Ray Observatory (»CGRO«) neu ausgewertet, das von 1991 bis 2000 von einer Erdumlaufbahn aus Gammaausbrüche beobachtete. >> Rainer Kayser

www.science.psu.edu/alert/Meszaros2-2003.htm

►► Acht neue Jupitermonde entdeckt +++ Riesige Gaswolke folgt Europas Umlaufbahn um Jupiter +++ Erster Asteroid

Diese und andere Meldungen finden Sie unter: www.wissenschaft-online.de/astronomie

KÄLTESTER ORT

Kosmischer Bumerang

Ein Bild und seine Geschichte: Am 20. Februar 2003 veröffentlichte die Europäische Raumfahrtbehörde Esa diese Aufnahme des Bumerangnebels im Sternbild Kentaur. 5000 Lichtjahre von der Erde entfernt ist dieser Planetarische Nebel der kälteste bekannte Ort im ganzen Universum. Bereits im Jahr 1995 bestimmten die Astronomen Sahai und Nyman seine Temperatur mit dem »Submillimetre Telescope« der europäischen Südsternwarte (Eso) in Chile auf –272 Grad Celsius. Das ist nur ein Grad wärmer als der absolute Nullpunkt. Selbst das Echo des Urknalls – die allgegenwärtige Hintergrundstrahlung – liegt noch zwei Grad darüber.

Aufgenommen wurde das gestochen scharfe Bild vom Hubble-Weltraumteleskop – und zwar schon im Jahr 1998. Ein wahrhaft kosmischer Bumerang! >> sf

ESA / NASA

PLANETEN

Schnee auf dem Mars

Als die Nasa-Raumsonde »Mars Global Surveyor« vor einigen Jahren Rinnen auf dem Mars entdeckte, deutete dies darauf hin, dass dort noch vor marsgeologisch kurzer Zeit Wasser geflossen sein musste. Die meisten Planetenforscher reagierten bestürzt auf diesen Fund. Waren sie vorher doch felsenfest davon überzeugt gewesen, dass die Marsoberfläche knochentrocken sein müsse. Woher konnten also Abflussrinnen stammen, die so aussahen, als seien sie erst vor kurzem trocken gefallen? Mögliche Erklärungen reichten von unterirdisch verborgenen Wasserreservoirs bis zu Kohlendioxiddepots, die Erdrutsche aus Trockeneis verursachten.

Philip Christensen, Professor an der Arizona State University und verantwortlicher Wissenschaftler für das Kamerasystem auf »Mars Odyssey«, präsentierte jetzt eine scheinbar einfache Erklärung für das Entstehen solcher Rinnen: Schnee!

NASA

Im »Newton-Becken« des Mars sind die von der Raumsonde »Mars Global Surveyor« entdeckten Abflussrinnen besonders deutlich zu erkennen. Die schmalen Kanäle führen eindeutig von oben nach unten.

Nach seiner Überzeugung liegt die Ursache für den Schneefall in der Schiefe der Marsachse. Diese variiert über Millionen von Jahren zwischen 0 und 35 Grad. Ist nun eine der Polkappen über einen längeren Zeitraum der Sonne stärker zugeneigt, verdampft dort Eis in größeren Mengen. Der entstandene Wasserdampf fällt, so die Theorie Christensens, in mittleren Breiten als Schnee vom Marshimmel.

Richtet sich die Achse des Mars wieder auf, sind diese Breiten einer stärkeren Sonnenstrahlung ausgesetzt. Der Marsboden heizt sich auf. Die an manchen Stellen vorhandenen Schneefelder wirken aber als Dämmstoff: Während die oberste Schneeschicht intakt bleibt, schmelzen die unteren, direkt mit dem Marsboden verbundenen Schichten ab. Das Schmelzwasser gräbt sich tief ein und verursacht die auf den Aufnahmen der US-Sonden entdeckten Abflussrinnen.

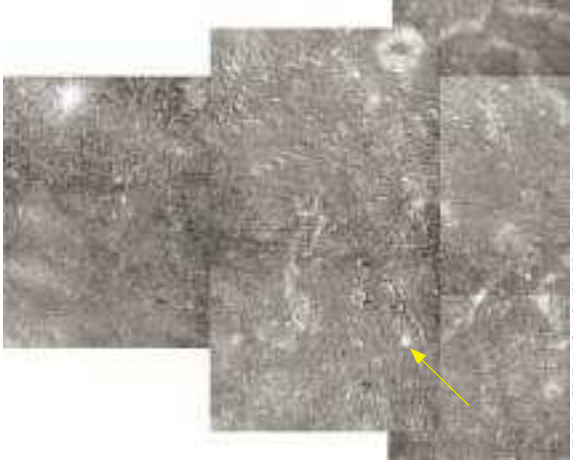
Christensens Vorschlag löst gleich zwei Probleme, mit denen sich die Marsforscher schon seit der Entdeckung der Rinnen herumschlagen: So treten diese Furchen meist nur an schattigen Nordhängen auf, da sich der Schnee dort lange genug halten kann, um sich mit seinem Schmelzwasser in den Marsuntergrund zu fressen. Auch erklärt die Theorie problemlos, warum die Rinnen meist ganz oben auf Berggipfeln beginnen: Dort schmilzt der Schnee zuerst.

»Mars«, so Christensen, »scheint früher wirklich eine Menge Schnee gehabt zu haben.« Da dieser Prozess nach seiner Überzeugung aber periodisch abläuft, können wir uns also schon heute auf die nächste Skisaison auf dem Mars freuen!

>> sf

zwischen Erde und Sonne entdeckt +++ Kosmische Hintergrundstrahlung: Schärfster Blick in die kosmische Kinderstube >

LEON STUART



MIT FRDL. GENEHMIGUNG VON BONNIE J. BURATTI (NASA / JET PROPULSION LABORATORY).

Das angebliche Beweisfoto von Leon Stuart aus dem Jahr 1953 (links) und eine Mosaikaufnahme der Clementine-Sonde von besagtem Gebiet.

MONDFORSCHUNG

Der jüngste aller Krater

Amateur-Mondbeobachter mussten in den letzten Monaten durch ein Wechselbad der Gefühle. Da bestätigten in der Januarausgabe der Zeitschrift »Icarus« zwei Forscherinnen die Existenz eines nur fünfzig Jahre alten Mondkraters, dessen Entstehung am 15. November 1953 vom Amateurastronomen Leon Stuart angeblich live beobachtet wurde. Bonnie Buratti vom Jet Propulsion Laboratory und Lane Johnson vom Pomona College durchsuchten für ihre Arbeit das Bildarchiv der Raumsonde »Clementine«. Und tatsächlich fanden sie an der von Stuart fotografierten Stelle einen 1,5 Kilometer breiten Krater, dessen Farbe und Helligkeit auf einen frischen Einschlag hindeuten.

Kurze Zeit später wurden jedoch Zweifel laut, da die seinerzeit von Stuart beobachtete Leuchterscheinung über acht Sekunden dauerte – viel zu lange für einen so kleinen Krater. »Wir wissen, dass ein solcher Einschlag maximal eine Sekunde aufleuchtet«, so der Spezialist für Meteoriteneinschläge, Alan Harris vom Space Science Institute.

Doch es sollte noch schlimmer kommen: John Westfall von der Association of Lunar and Planetary Observers entdeckte den mit dem »Stuart-Ereignis« in Verbindung gebrachten Krater jetzt auf Fotoplatten des Mount Wilson Observatoriums aus dem Jahr 1919! Eine sorgfältige Vermessung des Beweisfotos von 1953 durch Westfall sowie die S&T-Redakteure Dennis di Cicco und Gary Seronik zeigte , dass das Zentrum des damals fotografierten Lichtblitzes etwa ein Grad – das entspricht dreißig Kilometer – von der Position des jetzt gefundenen Kraters abweicht. >> sf

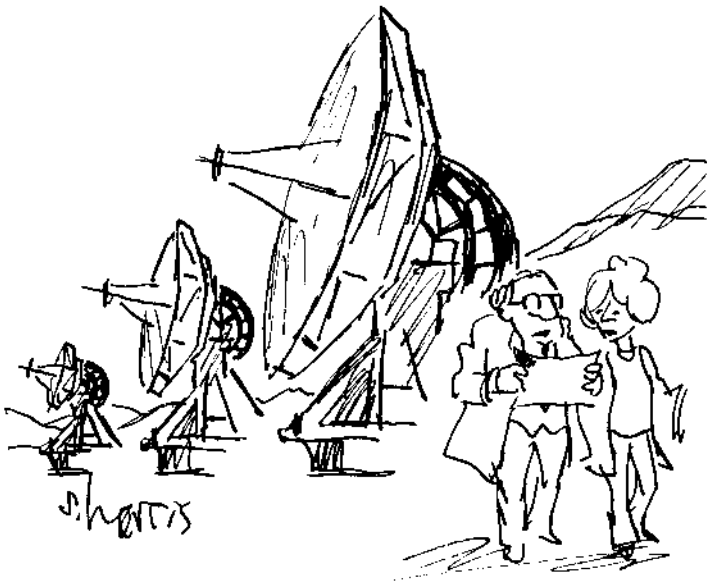
RIESENTELESKOP

Grünes Licht für Alma

ESO

Die weltweit größte Radioteleskopanlage »Alma« soll auf dem Chajnantor-Plateau in den Anden fünf Kilometer über dem Meeresspiegel errichtet werden. Einen entsprechenden Vertrag unterzeichneten Vertreter der Europäischen Südsternwarte Eso und der National Science Foundation der USA am 25. Februar.

Der Name Alma steht für »Atacama Large Millimeter Array«. Das 650-Millionen-Euro-Projekt wird aus 64 Parabolantennen mit je zwölf Meter Durchmesser bestehen. Die von den einzelnen Antennen empfangenen Signale lassen sich überlagern. Die Anlage kann wie ein einziges riesiges Teleskop arbeiten und bislang unerreichte Details bei Millimeterwellenlängen und darunter (Submillimeter) enthüllen. >> dre



> Mikrokrater sorgen für schwärzestes Schwarz +++ Angeblich älteste Sternkarte entdeckt +++ Ariane 5 fliegt wieder >

Diese und andere Meldungen finden Sie unter: www.wissenschaft-online.de/astronomie

ANZEIGE

EXOPLANETEN

Auf der Suche nach der zweiten Erde

Hundert Milliarden Sterne gibt es allein in unserer Milchstraße, viele werden wahrscheinlich von Planeten umkreist. Über hundert solcher Exoplaneten, also Planeten außerhalb unseres Sonnensystems, hat man bisher entdeckt. Eine neue Suchmethode verspricht jetzt spektakuläre Erfolge: Die »Transitmethode« (siehe Kasten) hat die Zahl der Sterne, in deren Umgebung sich mit heutiger Technik Planeten aufspüren lassen, von etwa 40 000 auf über hundert Millionen erhöht.

Mit ihrer Hilfe gelang einem Astronomenteam vom Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA) in Cambridge, USA, jetzt der Fund von OGLE-TR-56b. Rund 5000 Lichtjahre von der Erde entfernt, bricht der Exoplanet gleich eine ganze Reihe von Rekorden: Im Sagittarius-Spiralarm beheimatet, ist er zwanzig Mal weiter entfernt als bisher bekannte Exemplare seiner Art. Diese wurden bisher ausnahmslos in unserer kosmischen Nachbarschaft, dem Orion-Spiralarm, gefunden. In gerade einmal einem Fünfzigstel des Abstands von Sonne und Erde rast der Planet, der etwas größer als Jupiter ist, einmal alle 29 Stunden um den Stern OGLE-TR-56.

Die Transitmethode bringt jetzt endlich auch die Suche nach einer »zweiten Erde« voran, denn sie kann Planeten von bis zu einem Viertel der Erdmasse aufspüren. Die übliche Radialgeschwindigkeitsmethode, mit der bisher fast alle bekannten Exoplaneten gefunden wurden, »übersieht« noch die kleineren, erdähnlichen Planeten in Umlaufbahnen, in denen die Bedingungen für die Entstehung von Leben günstig sind.

Doch auch an diesem Problem wird gearbeitet: Astronomen der Thüringer Landessternwarte in Tautenburg zeigten kürzlich, dass die erreichbare Genauigkeit bei der Messung der Radialgeschwindigkeit mittlerweile ausreicht, um Planeten von wenigen Erdmassen in den bewohnbaren Zonen um so genannte Rote Zwergsterne nachzuweisen. Auch zwei konkrete Fahndungserfolge vermeldeten sie, gemeinsam mit dem Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik in Freiburg.

Bereits im Dezember hatte das Team einen planetaren Begleiter des Sterns HD 47536 entdeckt und spürte im Februar gleich einen weiteren Riesenplaneten auf. Dieser kreist in 433 Lichtjahren Entfernung von der Erde um eine Riesensonne namens HD 122430. Viermal größer als Jupiter bewegt er sich auf einer sehr exzentrischen Umlaufbahn um seinen Zentralstern – anders als die Planeten unseres eigenen Sonnensystems mit ihren meist runden Orbits. Allerdings nicht mehr lange: Ein paar Millionen Jahre noch, so vermuten die Forscher, dann wird ihn die lodernde expandierende Sternhülle verschlingen. >> tk

ILLUSTRATION: DAVID A. AGUILAR (CFA)

Wolken aus Eisenatomen vermuten Experten in der Atmosphäre des Exoplaneten OGLE-TR-56b. Der nahe Zentralstern heizt sie auf 1700 °C auf.

Präzisionsarbeit Planetensuche

Exoplaneten mit dem Teleskop direkt zu beobachten ist nicht möglich: Sie reflektieren zu wenig Licht und werden zudem von ihrem Zentralgestirn überstrahlt. Doch es gibt indirekte Methoden zu ihrem Nachweis.

Radialgeschwindigkeitsmethode: Ein System aus Stern und Planet hat einen gemeinsamen Schwerpunkt, um den beide kreisen. Auf seiner Bahn bewegt sich der Stern einmal auf den Beobachter zu, ein andermal von ihm weg, wobei sein Licht durch den Doppler-Effekt (siehe Glossar S. 20) blauer beziehungsweise röter erscheint. Aus dieser »Verschiebung« lässt sich die Masse des planetaren Begleiters errechnen. Das Problem: Planeten um sonnenähnliche Sterne müssen mindestens Jupitermasse besitzen, sonst ist der Effekt nicht messbar.

Transitmethode: Bewegt sich ein Planet vor seiner Sonne vorbei, so bedeckt er einen kleinen Teil ihrer Oberfläche. Dieser Verdunkelungseffekt kann gemessen werden. Das funktioniert selbst bei Planeten von Erdgröße, besonders dann, wenn sie in einer engen Umlaufbahn um ihren Stern laufen. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit eines solchen beobachtbaren »Transits« sehr gering.

Astrometrische Methode: Sie vermisst die Positionen eines Sterns mit bekannter Masse, der mit einem Begleiter um den gemeinsamen Schwerpunkt rotiert. Daraus lässt sich dessen Masse direkt bestimmen. Erst im vergangenen Jahr gelang mit Hilfe dieser Methode die erste Entdeckung eines Exoplaneten.

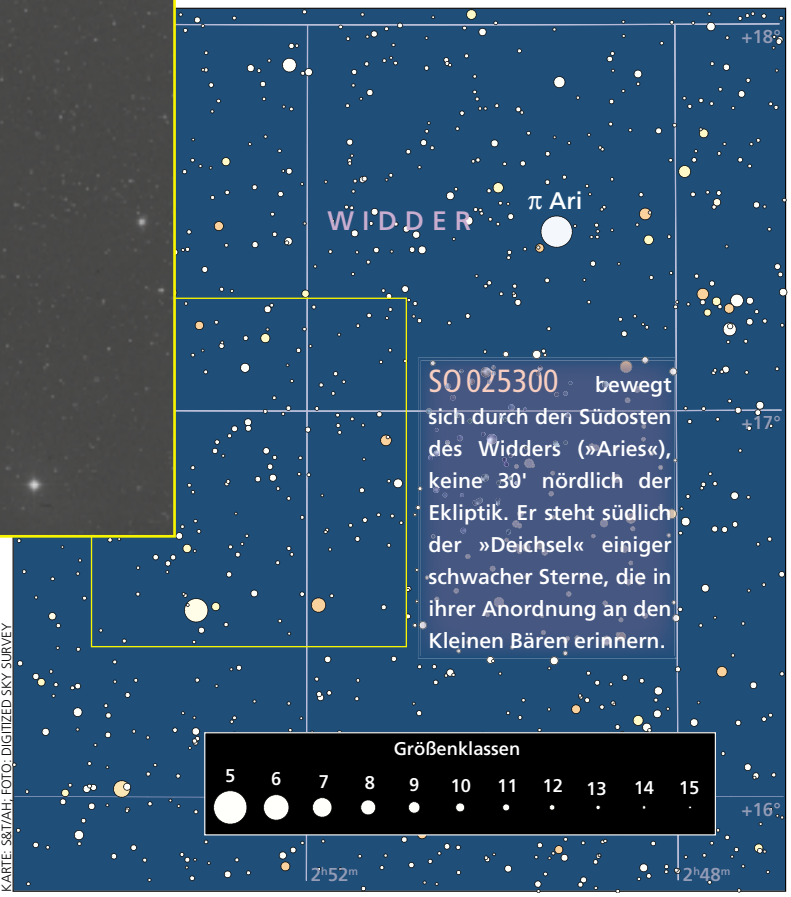
Weiterführende Informationen über Exoplaneten bieten folgende Internet-Adressen:
www.exoplanet.de
www.obspm.fr/encycl/encycl.html
http://exoplanets.org

> Europäisches Astrophysical Virtual Observatory eröffnet +++ Nasa-Sonde sucht das Sonnenlicht +++ Rosetta wird einen anderen Kometen

Diese und andere Meldungen finden Sie unter: www.wissenschaft-online.de/astronomie

NAHE STERNE

Roter Flitzer



US-amerikanische Astronomen haben in der SkyMorph-Datenbank des Near Earth Asteroid Tracking Programms (»Neat«) einen Stern entdeckt, der bislang unbeachtet in nur etwa 7,5 Lichtjahren Entfernung quasi durch den Vorgarten unseres Planetensystems saust. Bei dem noch nicht getauften Stern SO 025300.5+165258 handelt es sich um einen Roten Zwerg – genau wie bei den anderen Nachbarn der Sonne: Proxima Centauri, Barnards Stern und Wolf 359. Letzterer wird von SO 025300 auf Platz vier der Liste der nächsten Sternsysteme verwiesen.

Wie bei allen genannten Roten Zwergen kommt SO 025300 kaum über eine Helligkeit von 10. Größe hinaus, weshalb er bisher auch nicht auffiel. Verraten hat ihn jetzt seine überhöhte Geschwindigkeit von mehr als fünf Bogensekunden pro Jahr, die ihn in die Top-10-Liste der Himmelsraser bringt. >> dre

http://arxiv.org/abs/astro-ph/0302206

TELESKOPTECHNIK

Ungetrübter Weitblick

Magnetfelder verformen den Sekundärspiegel des MMT

FRANCOIS WILDI, CAAO

Für einen sensationell scharfen Blick ins Universum sorgt ein neuer Hightech-Spiegel im Multiple Mirror Telescope (»MMT«) auf dem Mount Hopkins in Arizona. Da Turbulenzen der Erdatmosphäre die Bilder in Teleskopen am Erdboden verschwimmen lassen, rüstet man sie mit aufwendiger »adaptiver Optik« aus, um Unschärfen auszugleichen. Jetzt gelang es erstmals, diese Korrektur direkt am Sekundärspiegel vorzunehmen, der die Lichtsignale vom Primärspiegel in das Okular des Beobachters lenkt. Der weniger als zwei Millimeter dicke Spiegel sitzt auf 336 »Aktuator«-Magneten. Diese »schwimmen« im Magnetfeld stromdurchflossener Spulen. Ein Hochleistungsrechner steuert die Stromstärke, sodass die Aktuatoren den Spiegel innerhalb von Millisekunden in die richtige Form bringen und so die Bewegung der Luftschichten in der Atmosphäre ausgleichen. Ein amerikanisch-italienisches Forscherteam hatte mehrere Jahre lang an der Neuentwicklung gearbeitet. >> tk

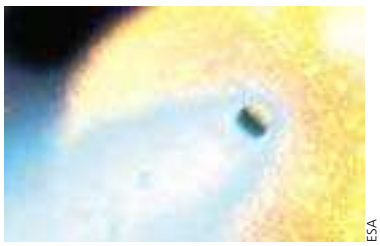
EXOPLANETEN

Ferner Planet verdampft

Zum ersten Mal haben Astronomen einen Planeten beobachtet, der so dicht um seinen Stern kreist, dass er allmählich seine Atmosphäre verliert.

HD 209458b gehört zur Klasse der »heißen Jupiter«. Das sind Gasplaneten, die ihrem Stern so nahe kommen, dass sich ihre Oberfläche aufheizt. Mit seiner zirka 1600 Grad heißen Hülle und dem 1,3fachen Durchmesser des Planeten Jupiter umrundet der Gasriese seine Sonne im Abstand von sieben Millionen Kilometern (der mittlere Abstand Erde – Sonne beträgt 150 Millionen Kilometer) in nur dreieinhalb Tagen.

Aufnahmen des Hubble-Weltraumteleskops zeigen, dass sich seine Wasserstoffatmosphäre dabei ähnlich wie ein Kometenschweif noch bis in eine Entfernung von 200 000 Kilometern von der Oberfläche des Planeten erstreckt. HD 209458b verliert dabei pro Sekunde 10 000 Tonnen Wasserstoff. Eines Tages, so vermuten die Astronomen, wird daher nur noch sein dichter Kern übrig bleiben. >> sf



ESA

Der heiße Ritt um den eigenen Stern kostet HD 209458b die Atmosphäre.

anfliegen+++Esa weiht erste eigene Bodenstation für interplanetare Missionen ein+++Raumsonde Galileo: Offizielles Ende der Mission >

KOMETEN

»Neat« live im Internet

Ganz nah zog Komet Neat (oben) im Februar an der Sonne vorbei. Links die verdeckte Sonnenscheibe mit einem solaren Masseauswurf.

NASA

Tolle Bilder des Soho-Satelliten (Solar & Heliospheric Observatory) ließen Astronomiebegeisterte auf der ganzen Welt Mitte Februar Zeugen werden, wie ein Komet nah an der Sonne vorbeiflog. Am 18. Februar um 7 Uhr Weltzeit (8 Uhr MEZ) durchlief der Komet »C/2002 V1 (Neat)« den sonnennächsten Punkt (Perihel) seiner Bahn.

Dabei kam er der Sonne mit einem Zehntel einer Astronomischen Einheit – das entspricht nur einem Viertel der mittleren Merkurdistanz – so nahe, dass er sogar auf den Bildern der Soho-Weitwinkelkamera »Lasco« zu sehen war. Diese beobachtet die Sonne und speist deren Bilder kontinuierlich ins Internet ein.

Der spektakulärste Anblick bot sich jedoch, als im Laufe jenes Tages eine Wolke geladener Teilchen – ein so genannter koronaler Masseauswurf – von der Sonne in Richtung Komet ausgestoßen wurde (siehe Bild links).

Dabei sah es so aus, als würde dieser mit dem Kometen zusammenstoßen. Astronomen wollen nun herausfinden, ob es wirklich zu einer Kollision kam.

Entdeckt wurde Komet Neat bereits am 6. November 2002 mit einem 1,2-Meter-Spiegelteleskop des »Near-Earth-Asteroid-Tracking«-Program auf Hawaii. Damals war der Komet allerdings noch ein Objekt 17. Größe und damit 25000-mal schwächer als die Wahrnehmungsgrenze des menschlichen Auges. >>sf

http://soho.nascom.nasa.gov/hotshots/2003_02_12/
http://sohowww.nascom.nasa.gov/whatsnew/screensaver.html

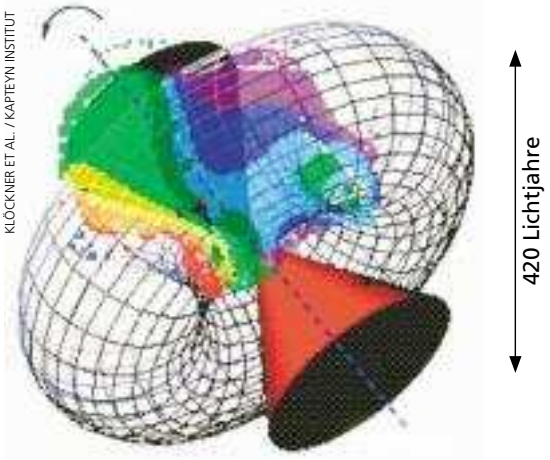
AKTIVE GALAKTISCHE KERNE

Standardmodell gestützt

Ein niederländisches Forscherteam um Hans-Rainer Klöckner hat Beobachtungen der rund 530 Millionen Lichtjahre entfernt gelegenen aktiven Galaxie Markarian 231 mit dem European VLBI Network im Fachblatt »Nature« veröffentlicht. Bei Mrk 231 handelt es sich um eine Galaxie mit einem aktiven Kern (»AGN«) vom Typ Seyfert-1. Dies ist eine besondere Klasse von AGNs, wie auch Quasare oder BL-Lac-Objekte.

Das Standardmodell der AGN sieht vor, dass ein supermassereiches Schwarzes Loch Materie spiralförmig ansaugt, und das meiste davon in zwei »Jets« nach oben und unten davonschießt. Die »zentrale Maschine« hat nur wenige Lichtjahre Durchmesser und ist von einem »molekularen Torus« umgeben – das Drahtgittermodell in der Abbildung –, ein »Donut« aus Staub und Gas, der je nach Blickwinkel die Sicht auf die innere Region versperrt. Die ionisierte Strahlung aus dem Zentralbereich scheint daher nur innerhalb der rot markierten Kegel aus dem Loch des Donuts heraus. Die Beobachtungen von Klöckner und seinen Kollegen zeigen jetzt erstmals Gebiete (farbig markiert), die in Größe und Drehbewegung genau zu dem erwarteten Torus passen. >> dre

www.astro.rug.nl/~hrkloeck/np/



KLÖCKNER ET AL. / KAPTEYN INSTITUT

Der molekulare Torus (Drahtgitter) verhindert bei vielen Seyfertgalaxien den Blick auf die »zentrale Maschine«.

ERRATUM

Im letzten Heft hat sich auf Seite 15 im Beitrag »VLTI misst Durchmesser von Proxima Centauri« ein Fehler eingeschlichen: 100000 Kilometer ist nicht der Durchmesser, sondern der Radius des Roten Zwergs. Der Größenvergleich mit Jupiter und der Sonne ist korrekt angegeben.

> Größe der sonnennächsten Sterne direkt bestimmt + + + Meteoritenhagel beschädigt Häuser in Chicago >

Diese und andere Meldungen finden Sie unter: www.wissenschaft-online.de/astronomie

ANZEIGE

COLUMBIA-KATASTROPHE

Neue Sicherheitsroutinen

D1-Astronaut Ernst Messerschmid zum Shuttleabsturz

ASTRONOMIE HEUTE: Herr Messerschmid, Sie sind kurz nach dem Absturz der Columbia in die USA gereist. Mit welchen Eindrücken sind Sie zurückgekehrt?

Messerschmid: Die Nasa und die Amerikaner schienen mir diesmal viel gefasster zu sein als bei der Explosion der Challenger vor 17 Jahren. Damals war ich noch unmittelbarer beteiligt, da ich mit der letzten Mission der Challenger ins All geflogen war und die Astronauten besser kannte.

AH: Welche neuen Erkenntnisse über die Ursachen des tragischen Unfalls gibt es?

Messerschmid: Die letzten zehn Minuten vor dem Auseinanderbrechen der Columbia sind gut registriert. Sogar das Lösen einzelner Teile wurde gefilmt. Inzwischen sind über 15 der knapp hundert Tonnen des Shuttles zusammengetragen worden. Die Nasa verfolgt verschiedene Fährten. So könnte die Kollision der linken Flügelkante mit einem Stück Isoliermaterial oder der Zusammenstoß mit Weltraumschrott zu einem nicht wieder gut zu machenden Schaden geführt haben. Es könnte allerdings auch am älteren Hitzeschutzschild der Columbia gelegen haben, dessen Rauigkeit viermal größer war als bei den anderen Shuttles und bei dem eine ausgeprägte Links-rechts-Asymmetrie vorlag. Unebenheiten führen beim Wiedereintritt aber zu einem früheren Übergang von der laminaren zur turbulenten Strömung und einer größeren Hitzeentwicklung. Nach wie vor liegt aber das auslösende Moment für diese Katastrophe im Dunkeln.

AH: Können die Astronauten bei einem auffälligen Verhalten des Shuttles von Hand eingreifen? Die Handsteuerung der Columbia soll Sekunden vor dem Auseinanderbrechen noch aktiviert worden sein. Ein letzter Rettungsversuch der Crew?

Messerschmid: Der Autopilot wurde tatsächlich kurz vor dem Absturz abgeschaltet. Entweder unabsichtlich oder in einem letzten verzweifelten Bemühen zur Rettung. Das Manöver wurde aber kurze Zeit später wieder rückgängig gemacht. Ein manuelles Steuern des Shuttles beim Wiedereintritt ist nicht vorgesehen. Der Neigungswinkel beträgt zu diesem Zeitpunkt vierzig Grad und muss auf zwei Grad genau eingehalten werden. Da ist jeder Pilot überfordert.

ALLE BILDER: ESA

Ernst Messerschmid bei Arbeiten im Raumlabor Spacelab während der D1-Mission STS-61A im Herbst 1985.

AH: Hätte die Möglichkeit bestanden, einen Schaden am Shuttle zu reparieren und die Besatzung zu evakuieren?

Messerschmid: Bei dieser Mission wäre kein Ausstieg in den Weltraum, also auch keine Reparatur möglich gewesen. Vielleicht hätte man durch Simulationen eine Rückflugbahn herausfinden können, bei der die verletzte Stelle des Shuttles weniger belastet worden wäre und so die heiße Phase überstanden hätte. Die Crew hätte sich dann mit Fallschirmen retten können. Ein Flug zur Internationalen Raumstation oder eine Evakuierung mithilfe eines zweiten Shuttles waren jedenfalls nicht möglich.

AH: Hat die Nasa notwendige Sicherheitsvorkehrungen vernachlässigt?

Messerschmid: Diese Frage muss der jetzt eingesetzte Untersuchungsausschuss beantworten. Auch die ausreichende Wartung älterer Raumfahrzeuge spielt hier eine Rolle. Bereits bei früheren Flügen gab es ja Auffälligkeiten.

AH: Sie sind selbst 1985 als Astronaut der D1-Mission mit einem Shuttle ins All geflogen. Hatten Sie jemals ein Gefühl der Unsicherheit an Bord?

Messerschmid: Oh ja! Einmal hörten wir einen lauten Knall, als ob jemand mit dem Hammer gegen die Außenhaut des Shuttles geschlagen hätte. Damals sind wir alle sehr erschrocken. Unser Kommandant beruhigte uns damit, dass es sich um thermische Entspannungen der Außenhaut beim Übergang von der Tag- auf die Nachtseite der Erde handele. Das Gehör eines Astronauten reagiert besonders empfindlich auf alle Geräusche, die eine mögliche Gefahr andeuten.

AH: Es gibt bereits Stimmen, die die Wiederaufnahme der Shuttleflüge schon für den kommenden Herbst ankündigen.

Messerschmid: Eine solche Entscheidung können nur die fällen, die wissen, was zum Absturz geführt hat und wie die verbliebene Raumgleiterflotte sicherer gemacht werden kann. Das Profil künftiger Missionen könnte verschiedene Sicherheitsroutinen enthalten, beispielsweise einen Flug zur ISS, um das Shuttle dort vor seiner Rückkehr von außen zu inspizieren. Außerdem wurde die Entwicklung weltraumtauglicher Reparaturmechanismen für das Hitzeschild beschlossen. Auch die ständige Bereithaltung einer zweiten Raumfähre als Rettungsfahrzeug gehört dazu.

AH: Die Nasa plant ein neues Transportsystem (siehe »Sicherer ins All«, Seite 17). Was geschieht bis dahin?

Messerschmid: Das »Orbital Space Plane« (OSP) soll auf der Spitze von Delta- oder Atlas-Raketen bereits 2010 bis 2012 einsatzbereit sein. Bis dahin muss die vorhandene Shuttleflotte noch durchhalten. Langfristig denkt die Nasa über die Entwicklung einer neuen Raumtransporter-Generation nach, die in den Jahren 2016 bis 2018 in Dienst gestellt werden sollen.

Das Interview führte Stephan Fichtner.

> Internationale Raumstation: Dreiköpfige Besatzung wird durch zwei Nachfolger ersetzt +++ Russischer Raumtransporter erreicht ISS + + +

Diese und andere Meldungen finden Sie unter: www.wissenschaft-online.de/astronomie

SHUTTLE-NACHFOLGER

Sicherer ins All

NORTHROP GRUMMAN / ORBITAL SCIENCES

Bald startklar? Die neuen Raumfährenkonzepte gibt es bislang nur im Computer.

Nach dem Absturz der Columbia bleiben der Nasa nur noch drei ihrer Spaceshuttles. Jetzt hat die US-Raumfahrtbehörde erstmals die Pläne für einen Nachfolger der gealterten Transporter vorgestellt. Spätestens ab 2012 sollen Weltraumflugzeuge (Orbital Space Planes, OSPs), besetzt mit mindestens vier, besser fünf bis sieben Astronauten, regelmäßig zwischen Cape Canaveral und der internationalen Raumstation ISS pendeln. Schon zwei Jahre zuvor sollen sie für eine eventuelle Evakuierung der ISS-Besatzung zur Verfügung stehen.

Ein »Expendable Launch Vehicle« (ELV), gewissermaßen eine Wegwerfrakete, soll das Weltraumflugzeug in einen Orbit hieven. Die Landung erfolgt dann wie gewohnt auf einer Rollbahn. Obwohl etwas kleiner als die Shuttles, kommen OSPs mit verschiedenen Vorzügen daher: Sie sollen schneller startklar sein als die klassischen Raumfähren, die drei bis vier Monate Vorbereitungszeit benötigen und über eine bessere Manövrierfähigkeit verfügen. Die ISS-Astronauten werden in den OSPs sicherer reisen als in den Shuttles und in der russischen Sojus-Kapsel, derzeit die einzige Möglichkeit zur Evakuierung. Wenig Platz ist allerdings im Gepäcknetz: Die Transportkapazität wird nur ein »minimales Niveau an Wissenschaft« unterstützen.

Ob die teuren Vehikel – allein in den nächsten fünf Jahren sollen 4,8 Milliarden US-Dollar investiert werden – je abheben, halten zumindest die Raumfahrtbefürworter von der »Space Frontier Foundation« für ungewiss. Sie rügen, dass die Nasa eine Reihe von Fehlschlägen bei der Entwicklung von Raumfähren zu verbuchen habe, die bis in die Reagan-Ära zurückreiche. Um den Jahreswechsel herum blies die Nasa auch den Bau des »Crew Return Vehicle« (CRV) ab, das sie gemeinsam mit der Europäischen Weltraumagentur Esa und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelte. >> tk

www.slinews.com

TAIKONAUTEN

Chinesen im All

Noch in diesem Jahr will China mit einem eigenen Programm in die bemannte Raumfahrt einsteigen – als gerade mal drittes Land nach Russland und den USA. Und die Astronauten aus dem Reich der Mitte haben auch schon einen Namen: »Taikonauten« werden sie heißen, zusammengesetzt aus dem chinesischen Wort für Weltall »taikong« und der griechischen Bezeichnung für Seemann »nauta«.

Nachdem alle Versuchsflüge erfolgreich abgeschlossen wurden, soll Chen Long im Oktober 2003 als erster Taikonaut für einige Tage den Erdball umrunden. Für die nahe Zukunft ist sogar eine Mondmission geplant. Auch scheinen bereits konkrete Forschungen zur Einrichtung einer Mondbasis und einer Marsexpedition im Gange zu sein. Die ehrgeizigen Ziele sind in dem vom Staatsrat veröffentlichten »White Paper on China's Space Activities« zusammengefasst.

Neben reinem Wissensdrang scheint vor allem Prestigedenken die Chinesen anzustacheln: Das Reich der Mitte will nicht länger als Weltraumentwicklungsland gelten, sondern sich zu einem ernsthaften Konkurrenten der etablierten Raumfahrtnationen mausern. >> Stefanie Reinberger

PIONEER 10

Reise in Frieden

Am 22. Januar 2003 gelang dem »Deep Space Network« der Nasa die letzte Kontaktaufnahme mit Pioneer 10 in über zwölf Milliarden Kilometer Entfernung (81 AE). Das Signal war nur noch sehr schwach, daher nehmen die Experten an, dass das Plutonium für den Reaktor endgültig aufgebraucht ist.

Die US-Raumsonde wurde am 2. März 1972 gestartet und war das erste Raumfahrzeug, das den Asteroidengürtel durchquerte und Jupiter erreichte. Während des dramatischen Vorbeiflugs im Dezember 1973 funkte sie sensationelle Fotos und wissenschaftliche Daten zur Erde. Seitdem treibt die Sonde auf den Rand des Sonnensystems zu und passierte 1983 Plutos Orbit.

Obwohl die Mission auf nur 21 Monate Dauer ausgelegt war, sammelte Pioneer 10 über dreißig Jahre lang Daten. Von ihrem jüngeren Zwilling Pioneer 11 hat die Nasa seit 1995 nichts mehr gehört. >> dre

http://spaceprojects.arc.nasa.gov/Space_Projects/pioneer/PNhome.html

NASA / DON DAVIS, 1983

Pioneer 10 – Blick zurück auf Neptun

Start von Mars Express auf 6. Juni verlegt +++ Columbia: Suchmannschaft findet Datenrekorder ◀◀

HUBBLE HERITAGE PROJECT / NASA

DAS RÄTSEL DER KOSMISCHEN

T. A. RECTOR / MONICA RAMIREZ / NOAO

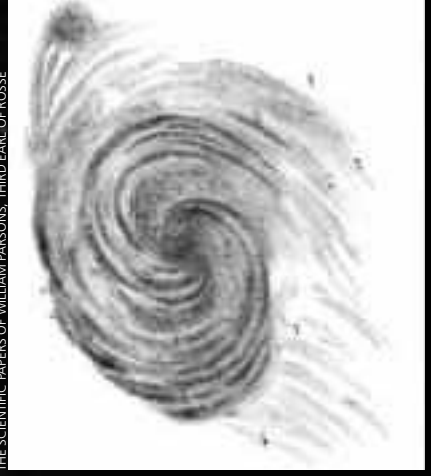
Die »Whirlpool-Galaxie« M 51 baumelt an der Deichsel des Großen Wagens. Dieses Musterbeispiel einer Spiralgalaxie bleibt rätselhaft. Einige Astronomen führen ihre Struktur auf Gezeitenkräfte der Nachbargalaxie NGC 5195 (oben im Bild) zurück.

DAVID BLOCK UND BRUCE ELMEGREEN

Die Staubstreifen von M 51 treten auf dieser Aufnahme des Infrarotsatelliten Iso deutlich hervor. Mit Hilfe solcher Bilder können Astronomen den Zusammenhang zwischen Spiralarmen und Sternentstehung aufklären.

HUBBLE HERITAGE PROJECT / NASA

Im Innersten von M 51 (Kreis mit 1000 Lichtjahren Durchmesser) wird die Struktur der Galaxis durch Schallwellen beeinflusst, wie Hubble-Aufnahmen vermuten lassen – und nicht durch von der Schwerkraft angeregte Dichtewellen.



THE SCIENTIFIC PAPERS OF WILLIAM PARSONS, THIRD EARL OF ROSSE

Als Erster dokumentierte der dritte Earl of Rosse, William Parsons, im Jahr 1845 die Spiralstruktur von M 51. Ihm stand das damals weltweit größte Teleskop zur Verfügung, ein 72-Zoll-Reflektor – das entspricht einer Öffnung von 1,83 m.

EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY

EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY

HUBBLE HERITAGE PROJECT / NASA

Galaktischer Tanz im Sternbild Großer Hund: Die Schwerkraft der Galaxie NGC 2207 (großes Bild, links) zerrt an IC 2163. Entlang der Spiralarme bilden sich dichte Sternentstehungsregionen (rosafarbene Punkte).

HUBBLE HERITAGE PROJECT / NASA

DREHSCHEIBEN

Noch wahren die faszinierenden Spiralarme der Welteninseln das Geheimnis ihrer Entstehung. Doch der Wettstreit um die richtige Erklärung ist in vollem Gange.

>> Jack Lucentini

Alar Toomre ist verärgert. Während seiner langen und erfolgreichen Karriere als Professor für Angewandte Mathematik am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge, USA, hat er viel zum heutigen Verständnis der Spiralgalaxien beigetragen. Doch ein Fehlschlag wurmt ihn: Es ist ihm mit seinen Computermodellen nicht gelungen, die ungewöhnlich symmetrische Spiralstruktur der für ihre Schönheit bekannten Galaxie M 51 zu enträtseln. Seine Vermutung: Sie verdankt ihre Existenz den von einer Nachbargalaxie ausgeübten Gezeitenkräften.

»Dass die Schwerkraft die Ursache für die Entstehung von Spiralmustern in Galaxien ist, wurde bereits in den letzten Jahrzehnten klar«, so der Galaxienexperte. »Doch einige Einzelheiten sind nach wie vor unverstanden. Die größten Probleme bereitet mir die Gestalt von M 51.«

Die charakteristischen Spiralmuster zieren etwa zwei Drittel aller Galaxien – so auch unsere Milchstraße. Wie aber entstehen diese Strukturen? Bis heute kennen Astronomen die Antwort nicht. Und dies zu einer Zeit, da sich die Forschung längst so entfernten und abenteuerlichen Fragestellungen wie denen nach den Vorgängen in der ersten Sekunde des Universums zugewandt hat. »Es dürfte sich um eine der ältesten ungelösten Fragen der Astronomie handeln«, urteilt der Stellardynamiker Jerry Sellwood von der Rutgers University, New Jersey. Andere Forscher wie Toomre halten die Frage im Wesentlichen für geklärt, haben allerdings gänzlich verschiedene Antworten gefunden.

So entstanden in den letzten Jahren völlig neue, faszinierende Theorien. Sie reichen von der Hypothese, dass sich die Spiralarme wie im Wind flatternde Fahnen ständig neu bilden, bis hin zur An- >

Die Vielfalt der Strukturen in Scheibengalaxien lässt sich wahrscheinlich nicht mit einer einzigen Theorie erklären. NGC 2613 (10. Größe) im Sternbild Kompass besitzt eine Vielzahl kurzer unterbrochener Arme, wie sie sich auch in den Simulationen der Scheiben frei stehender Galaxien zeigen.

Die dicken Spiralarme und der schwache Balken von M 83 übernehmen möglicherweise Drehimpuls von Sternen und Gas, sodass diese langsam in Richtung auf das Zentrum der Galaxie absinken.

> nahme, dass eine spiralförmige Galaxie nur ein Zwischenstadium beim Zerfall der Welteninsel in ungeordnete Klumpen darstellt.

Die ersten Schritte

Im Jahre 1845 erkannte der irische Earl of Rosse als Erster die Spiralstruktur einer Galaxie, nämlich die des Messier-Objekts Nummer 51 (M 51), später Whirlpool-Nebel genannt. Solche Objekte, schrieb der Earl, weckten in ihm »den brennenden Wunsch, die Gesetze zu ergründen, die dieser wunderbaren Ordnung zugrunde liegen.« Zu seiner Zeit konnte man nur darüber spekulieren, ob Nebel glühende Gasansammlungen oder Sternhaufen sind und ob sie innerhalb oder weit abseits unserer Milchstraße liegen.

Erst in den 1920er Jahren erkannten Forscher die wahre Natur der Galaxien, die weit entfernte, riesige Ansammlungen von Sternen ähnlich unserer eigenen Milchstraße sind. Als die Astronomen in den 1950er Jahren das Problem der Spiralarme erstmals systematisch angingen, erlitten sie jedoch zahlreiche Fehlschläge. Eine Hypothese etwa lautete, dass Magnetfelder die beobachteten Strukturen hervorbrächten. Wie ihnen das gelingen sollte, konnten die Befürworter der Theorie nie befriedigend erklären.

Eine andere naheliegende Idee war, dass die Spiralarme aus Materie bestehen, im Grunde also eine lange Aufreihung von Sternen sind. Wenn die Galaxie nun rotiert – dass Galaxien dies tun, war seit langem bekannt –, dann würden sich die Arme und mit ihnen die Sterne ebenfalls um das Zentrum drehen. Diese Rotation erfolgt jedoch nicht gleichförmig, sondern »differenziell« (siehe Glossar): Materie nahe dem Zentrum der Galaxie benötigt für einen Umlauf eine geringere Zeit als Sterne und Wolken weiter außen. Nach wenigen Umdrehungen würden sich Spiralarme aus Materie also immer enger aufwickeln, bis sie nach wenigen Umdrehungen nicht mehr als solche erkennbar wären, wie der schwedische Astronom Bertil Lindblad in den späten 1950er Jahren feststellte. Er schlug daher vor, dass nicht etwa bestimmte Materieansammlungen die Spiralarme bilden, sondern dass diese räumliche Muster sind, die zu verschiedenen Zeitpunkten aus verschiedenen Sternen gebildet werden. Auch wenn er deren Entstehung nie erklären konnte, befruchtete seine Idee doch die wissenschaftliche Diskussion.

Chia C. Lin und Frank Shu vom MIT verfolgten in den 1960er Jahren eine Hypothese, wonach die Spiralarme Dichtewellen (siehe Kasten Seite 22) darstellen. In einer Galaxie, so die Theorie, fächern Dichtewellen spiralförmig auf – wie Wasserwellen, die ein im Kreis fahrendes Boot hinter sich lässt. Die sie antreibende Kraft ist die Gravitation der Galaxie. Sobald sich ein Spiralarm einem Stern nähert, zieht er diesen aufgrund seiner höheren Massendichte an sich heran und hält ihn für eine Weile in seinem Einflussbereich fest. Ist der Spiralarm über den Stern hinweggezogen, läuft dieser weiter auf seiner Bahn, bis ihn der nächste Arm einholt. Dabei bleiben Sterne längere Zeit innerhalb der Spiralarme als außerhalb und tragen so zu deren Bestehen und Leuchtkraft bei.

Auch Wolken aus interstellarem Gas gelangen in die Spiralarme. Werden sie

GLOSSAR

Differenzielle Rotation: Innere galaktische Regionen rotieren schneller um das Zentrum als weiter außen liegende. Nach wenigen Drehungen müssten sich Spiralarme aufwickeln, wenn sie aus immer denselben Sternen bestehen.

Doppler-Verschiebung: Entfernt sich ein Himmelskörper von uns, so erscheint sein Licht langwelliger (»röter«), als es wirklich ist – es ist (Doppler-) rotverschoben. Nähert er sich uns, erscheint es kurzwelliger (»blauer«) – es ist blauverschoben. Da man aus den Spektrallinien der meisten Sterne ableiten kann, in welcher Farbe diese leuchten, lässt sich mithilfe der gemessenen Verschiebung ihre Bewegung relativ zur Erde feststellen.

Drehimpuls: Der Drehimpuls eines Sterns beschreibt seine Rotation um das galaktische Zentrum. Je schneller, massereicher und entfernter ein Stern vom Zentrum ist, desto höher ist sein Drehimpuls. Wirkt er durch seine Schwerkraft auf einen anderen Stern, kann er dabei auch einen Teil seines Drehimpulses übertragen und so die Umlaufbahn des anderen Sterns verändern.

Der abrupte Knick im östlichen Arm (links der Mitte) von M 100 könnte von einer Wechselwirkung herrühren, wie sie auch M 51 durch ihren Begleiter erfährt.

ALLE FOTOS: EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY

dabei verdichtet, kollabieren sie manchmal zu Gaskugeln. Wenn darin das kosmische Feuer der Kernfusion zündet, beginnen sie als Sterne zu leuchten. Die hellsten dieser jungen Sterne strahlen in einem bläulichen Licht, verbrauchen dabei aber sehr schnell ihren Brennstoff. So sterben sie noch im Innern der Spiralarme als Supernovae und lassen diese noch deutlicher hervortreten. »Die jungen Sterne sind wie die Gischt auf dem Kamm einer Wasserwelle«, erläutert Shu. »Die Schaumkronen befinden sich immer am höchsten Punkt – nicht, weil sie mit der Welle reiten, sondern weil sie dort, wo sie erscheinen, in kurzer Zeit entstehen und gleich wieder vergehen.«

In eine immer enger gewickelte Spirale verformt sich eine geradlinige Struktur in einer galaktischen Scheibe. Der Grund für dieses Phänomen ist die differenzielle Rotation (Glossar Seite 20), die in fast jeder Galaxie zu beobachten ist. Damit war bereits vor über einem halben Jahrhundert klar, dass die Spiralarme im Verlauf eines Galaxienlebens nicht aus immer denselben Sternen bestehen können.

Die sichtbare Struktur ist dabei – ähnlich wie bei Schaumkronen – ungeordneter als die ihr zugrunde liegende Welle, da sie anfälliger für Turbulenzen in der Galaxie ist. »Die jungen Sterne sind lediglich der am leichtesten wahrzunehmende Teil der Welle, sie gehören aber nicht zur darunter liegenden Struktur«, erklärt Shu. »Aus neuen Infrarotbeobachtungen wissen wir, dass in Wahrheit die weitaus zahlreicheren alten Sterne in der Scheibe das Rückgrat der Spiralarmstruktur ausmachen.«

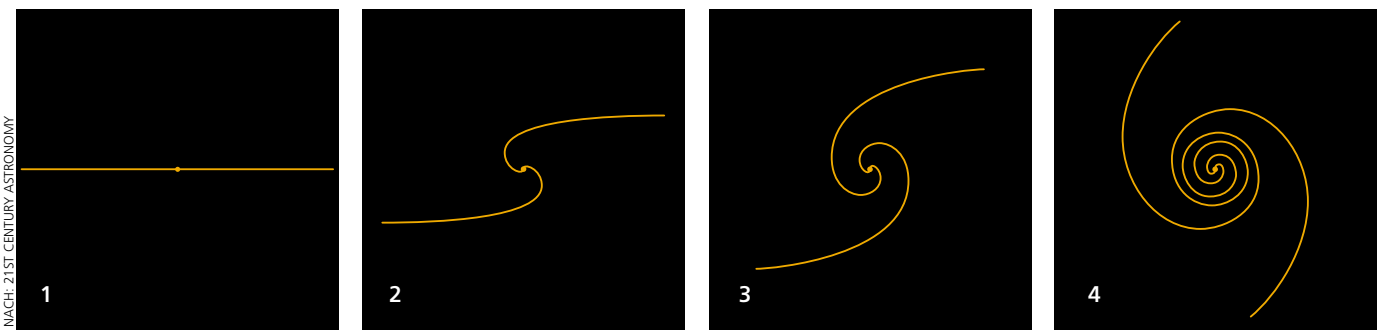
Die Theorie von Lin und Shu beseitigt zwar das Aufwickeldilemma der Spiralarme, bleibt jedoch eine klare Antwort darauf schuldig, welche Kraft die Dichtewellen überhaupt hervorruft. 1960 berechnete Lindblads Sohn Per Olof mit einem Computer erstmals die Bewegung der Sterne in einer Galaxie. Und erhielt ein erstaunliches Ergebnis: Die Sterne ordneten sich auf dem Bildschirm zu Spiralmustern an, die jedoch schnell wieder verschwanden. Zwar lösten die Simulationen das Rätsel nicht, warfen aber eine wichtige Frage auf: Sind Spiralen nur vorübergehende Phänomene, die nach kurzer »Blütezeit« wieder verschwinden?

Lin und Shu beantworteten diese mit einem klaren Nein, woraufhin sich eine heute noch andauernde Debatte um die Lebensdauer von Spiralarmen entspann. Für Diskussionsstoff sorgte vor allem ihre Behauptung, dass grundlegende Eigenschaften wie die Anzahl der Spiralarme einer Galaxie während langer Phasen eines Galaxienlebens gleich bleiben – unabhängig von lokalen Veränderungen.

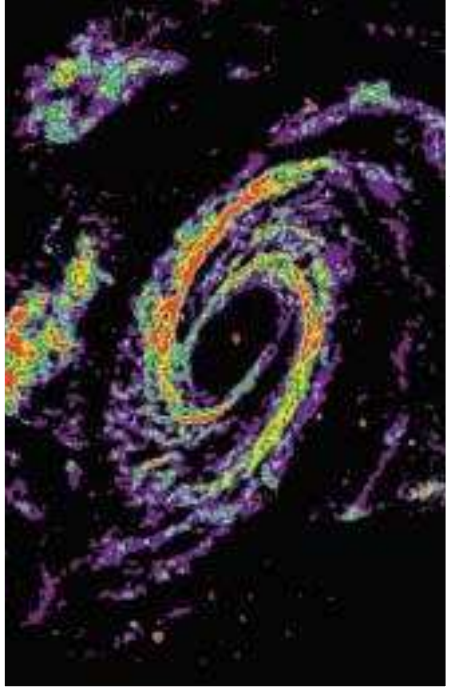
Denn das Muster einer Galaxie, so die Begründung von Shu und Lin, bestehe hauptsächlich aus stehenden Dichtewellen (Kasten Seite 24). Während gewöhnliche Wellen keine beständigen Muster ausbilden, sondern umhertanzen und schließlich wieder verschwinden, bleiben stehende Wellen lange Zeit deutlich sichtbar. In Galaxien seien es also stehende Dichtewellen, die die Spiralarme so auffällig in Erscheinung treten lassen. Für diese Vermutung spricht noch ein weiteres Argument: Stehende Wellen entstehen vor allem dort, wo auch räumliche Symmetrien vorhanden sind – und tatsächlich haben viele Galaxien die Form symmetrischer zweiarmiger Spiralen.

Konstant ist nur der Wandel

Alar Toomre hat sich von den Überlegungen seines MIT-Kollegen Lin nie überzeugen lassen. Die Diskussionen zwischen den beiden, deren Büros wenige Schritte voneinander entfernt auf demselben Gang liegen, dauern seit Jahrzehnten an. »Ich war ein junger Dozent hier«, erinnert sich Toomre, »als Lin 1961 von einer Astronomietagung in Princeton mit der Idee zurückkehrte, dass Galaxienscheiben solche Schwingungsmoden besäßen«, stehende Wellen also. »Für einen Bruchteil der Zeit trifft diese >



NACH: 21ST CENTURY ASTRONOMY



MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON GARY L. STEVENS UND NRAO (LINKES BILD) UND DAVID WESTPFAHL (NEW MEXICO INSTITUTE OF MINING AND TECHNOLOGY)

M 81 im Großen Bären – mit ihren ausgeprägt symmetrischen Armen eine weitere Spiralgalaxie wie aus dem Lehrbuch – ist möglicherweise auf ihren Begleiter angewiesen (NGC 3077, hier nicht abgebildet), der regelmäßig ihre Dichtewellen anregt. Messungen des VLA-Radioteleskops stützten diese Vorstellung: Mit ihm untersuchten Wissenschaftler die Bewegung atomaren Wasserstoffs in der Scheibe von M 81 (Falschfarbenbild rechts).

> Überlegung wahrscheinlich sogar zu, vielleicht in 5 bis 15 Prozent der Fälle.«

Dennoch erschienen Toomre die meisten Spiralgalaxien ungeordneter und unsymmetrischer, als es Systeme mit stehenden Wellen seiner Ansicht nach sein sollten. Stehende Wellen, so folgerte er, existierten in den meisten Galaxien nur kurz. In den 1960er Jahren präsentierte er daher einen alternativen Vorschlag. Angenommen, die Scheibe einer Galaxie enthält einen Klumpen Materie. Dieser zieht mit seiner Schwerkraft weitere Materie an, auf Grund der Rotation um das Zentrum der Galaxie jedoch nicht direkt in seine Richtung. Dadurch verteilt sich die Materie in der Umgebung des Klumpens auf eine Weise, dass man sie als Teil eines Spiralarms auffassen kann. Diese Materieansammlung erzeugt ihrerseits eine noch größere Spiralarmstruktur. Da die Materie in jeder Galaxie »klumpig« ist, können so viele Spiralarme entstehen. Allerdings wären diese wegen der zufälligen Verteilung der Klumpen nicht notwendigerweise symmetrisch und miteinander verbunden wie im Fall stehender Wellen.

Wenn es Wellen gibt, so glaubt Toomre, dann sind diese in den meisten Fällen einem andauernden Wandel unterworfen. Die voranschreitenden Dichtewellen selbst sind es, die die Sterne aus ihren schönen und regelmäßigen Bahnen herausrütteln. Auf diese Weise ersetzen neue Spiralen fortwährend die alten, sich auflösenden Strukturen. In einem galaktischen Jahr würde sich das Erscheinungsbild einer Galaxie also dramatisch ändern. In diesem Zeitraum von etwa 240 Millionen Erdenjahren läuft die Sonne einmal um das Zentrum der Milchstraße. Lin und Shu glauben dagegen, dass die Strukturen über zehn galaktische Jahre oder länger stabil bleiben.

Dichtewellen

Stellen Sie sich eine abgefeuerte Gewehrkugel vor: Die von der Kugel verdrängte Luft prallt auf die Luft in der Umgebung und verdichtet sie. Diese dehnt sich anschließend wieder aus und verdichtet dabei die noch weiter außen liegende Luft. Das Ergebnis ist eine Welle von verdichteter Luft, eine Dichtewelle, die sich um die Gewehrkugel ausbreitet.

Eine galaktische Dichtewelle ist ein ähnliches Phänomen: Sie erhöht die Masse in einem bestimmten Raumbereich, indem sie mit Hilfe der Schwerkraft darin mehr Sterne als üblich zusammenrückt. Zieht die Welle weiter, nimmt die Dichte in diesem Gebiet allmählich wieder ab, so lange, bis die nächste Wellenfront eintrifft.

Für die Sterne selbst ist die galaktische Dichtewelle nur eine vorübergehende Störung: Sie verfolgen im Wesentlichen weiter ihre gewohnte Bahn um das galaktische Zentrum. Durch die Dichtewelle werden sie nur ein wenig vom Weg abgebracht, um später wieder auf ihre alte Position zurückzukehren.

Während der Wettstreit der Theorien andauert, hat sich inzwischen wenigstens ein Konsens darüber herausgebildet, wodurch Spiralwellen angeregt werden. Viele Wissenschaftler sind der Meinung, dass nahezu jede Störung in einer galaktischen Scheibe Wellen auslösen kann. Eine Spiralgalaxie entsteht aus einer rotierenden Gaswolke, die unter dem Einfluss ihrer eigenen Schwerkraft zu einer pfannkuchenförmigen Scheibe abflacht. Auch die Materie in der Scheibe rotiert, die Fliehkräfte verhindern also den Kollaps zu einer dichten Kugel.

In dieser Scheibe können sich klumpige Materieansammlungen bilden, die das System durch ihren Schweresog aus dem lokalen Gleichgewicht bringen. Störungen können ihren Ursprung aber auch außerhalb haben – etwa in den Gezeitenkräften einer Nachbargalaxie. Nach Toomres Ansicht ist dies die Erklärung für symmetrische Galaxien wie M 51. Viele Galaxien besitzen in ihrem Inneren zudem rotierende, balkenförmige Strukturen, die ebenfalls Wellen anregen können.

Ob stehende Wellen oder Materieklumpen – beide Theorien beschreiben, wie anfänglich kleine Störungen sich zu weitläufigen Mustern entwickeln. Uneinigkeit herrscht aber über den Mechanismus sowie die Natur und Beständigkeit dieser Strukturen. Und in den letzten Jahren scheinen die Modelle ohnehin in eine Sackgasse geraten zu sein.

Dies lässt Raum für unkonventionelle Vorschläge wie den von Xiaolei Zhang vom Naval Research Laboratory. Ende der 1980er Jahre stand die damalige Doktorandin an der University of Cali- >

Dreht sich NGC4622 wirklich rückwärts?

Die Entdeckung einer »Rückwärtsspirale«, bekannt gegeben durch eine Wissenschaftlergruppe im Januar 2002, könnte die etablierten Theorien zur Entstehung von Spiralgalaxien durcheinander bringen. Wenn die Beobachtungen nämlich zutreffen, »dann ist die Theorie der Spiralarme weiter von der Wirklichkeit entfernt, als wir dachten«, so der Stellardynamiker Jerry Sellwood. Doch er und viele andere Forscher zweifeln die Existenz von Spiralgalaxien an, deren Arme sich »rückwärts« drehen.

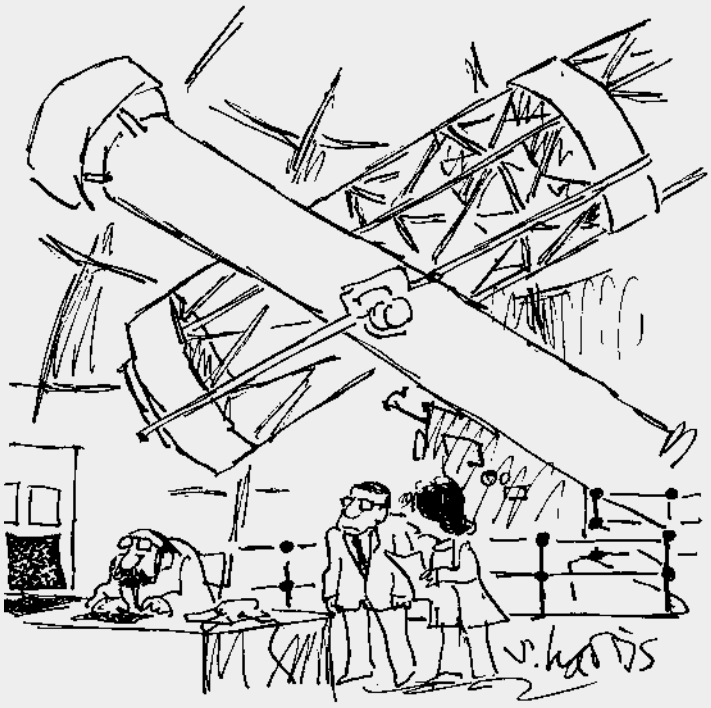
Die gängigen Theorien der Galaxienentwicklung sagen voraus, dass die differenzielle Rotation Spiralarme hervorbringt, deren Enden entgegen der Drehrichtung der Galaxie zeigen – wenn Sie Milch in Ihrem Kaffee umrühren, können Sie Ähnliches beobachten.

Aber bei NGC4622 im Kentaur ist es gerade andersherum, behaupten Gene G. Byrd und Ronald J. Buta von der University of Alabama und Tarsh Freeman vom Bevill State Community College, ebenfalls in Alabama, USA. Die beiden äußeren und ausgeprägtesten Arme scheinen in Drehrichtung gebogen zu sein. »Dies ist wahrscheinlich die einzige bekannte Galaxie, die deutlich einen nach vorne gerichteten Arm zeigt«, kommentiert Bruce Elmegreen vom IBM Watson Research Center die Entdeckung.

Eine gesicherte Erklärung für das Phänomen haben die Forscher allerdings nicht, nur eine Vermutung: Möglicherweise ist ein **Zusammenstoß mit einer Nachbargalaxie** die Ursache. »Im Zentrum von NGC4622 befindet sich ein Staubstreifen, der den Kern in der Mitte teilt«, erklärt Buta. »Das könnte ein Indiz dafür sein, dass in dieser Galaxie ein Verschmelzungsprozess stattgefunden hat.« Vielleicht gerieten sich die beiden Welteninseln auch nur ein wenig zu nahe, wodurch die Schwerkraftwechselwirkung die Drehrichtung der Spiralarme von NGC4622 beeinflusste.

GENE BYRD, RONALD BUTA, TARSH FREEMAN UND NASA

Nur für Eingeweihte erkennbar ist ein Staubstreifen in dieser Hubble-Aufnahme von NGC4622 (12. Größe), der vor dem kompakten Kern vorüberläuft. Einigen Astronomen gilt er als Hinweis darauf, dass die Galaxie »rückwärts« rotiert, dass also die Enden der Spiralarme in Drehrichtung zeigen.

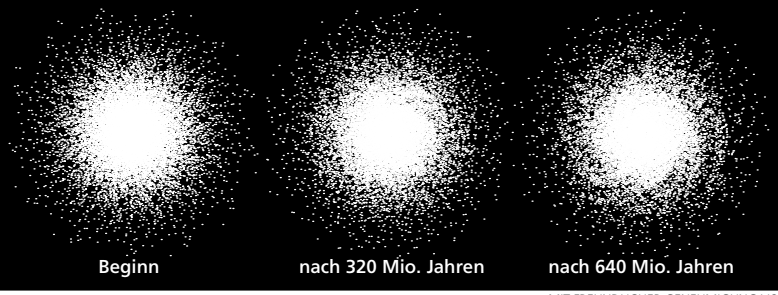


»DR. RENLY GLAUBT, DASS IM MUSTER DER GALAXIENHAUFEN DIE ANTWORT AUF UNSERE FRAGE VERSTECKT IST. IHM FEHLEN NUR EINIGE BUCHSTABEN.«

NGC4622 ist kein Einzelfall. Es sind schon mehrere Galaxien bekannt, die angeblich rückwärts laufende Spiralarme aufweisen, wie etwa NGC3124 oder die »Blackeye«-Galaxie NGC4826. Dennoch bleibt die Forschergemeinde skeptisch, ob es tatsächlich Rückwärtsspiralen gibt. Im speziellen Fall von NGC4622 halten viele Wissenschaftler die Methode, die für die Bestimmung der Drehrichtung angewendet wird, für unzuverlässig.

Deren Prinzip ist zwar einfach: Sieht man die Scheibe unter einem Winkel, dann ermittelt man mit Hilfe des Doppler-Effekts (siehe Glossar Seite 20) zunächst, ob sich ihr rechter oder ihr linker Rand auf uns zu bewegt. Anschließend muss man dann noch in Erfahrung bringen, ob man auf die Oberseite oder auf die Unterseite der Scheibe blickt. Dabei hilft ein **Staubstreifen** um die galaktische Scheibe: Dort, wo er deren Licht abschattet, weist die Galaxie in Richtung des Beobachters. Doch um den Staubstreifen sicher nachweisen zu können, sollte NGC4622 stärker geneigt sein – sie weicht aber nur etwa zwanzig Grad von der Draufsicht ab.

Spiralarmstrukturen können spontan in einer rotierenden Scheibe aus Sternen entstehen. In einem Computermodell von Xiaolei Zhang führt dies sogar zu langlebigen Eigenschaften wie den beiden Spiralarmen in der inneren Hälfte der Scheibe.



MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON XIAOLEI ZHANG

> fornia eines Tages beeindruckt vor der Aufnahme einer Spiralgalaxie im Flur des Astronomieinstituts. »Mein erster Gedanke war: Das Zeug muss eigentlich auf Spiralbahnen nach innen fallen«, sagt sie. Ein Professor erklärte ihr, dass der Drehimpuls (siehe Glossar auf Seite 20) der Sterne das verhindere. Zhang suchte dennoch nach Erklärungen, wie Sterne ihren Drehimpuls abgeben und in Richtung des galaktischen Zentrums sinken könnten.

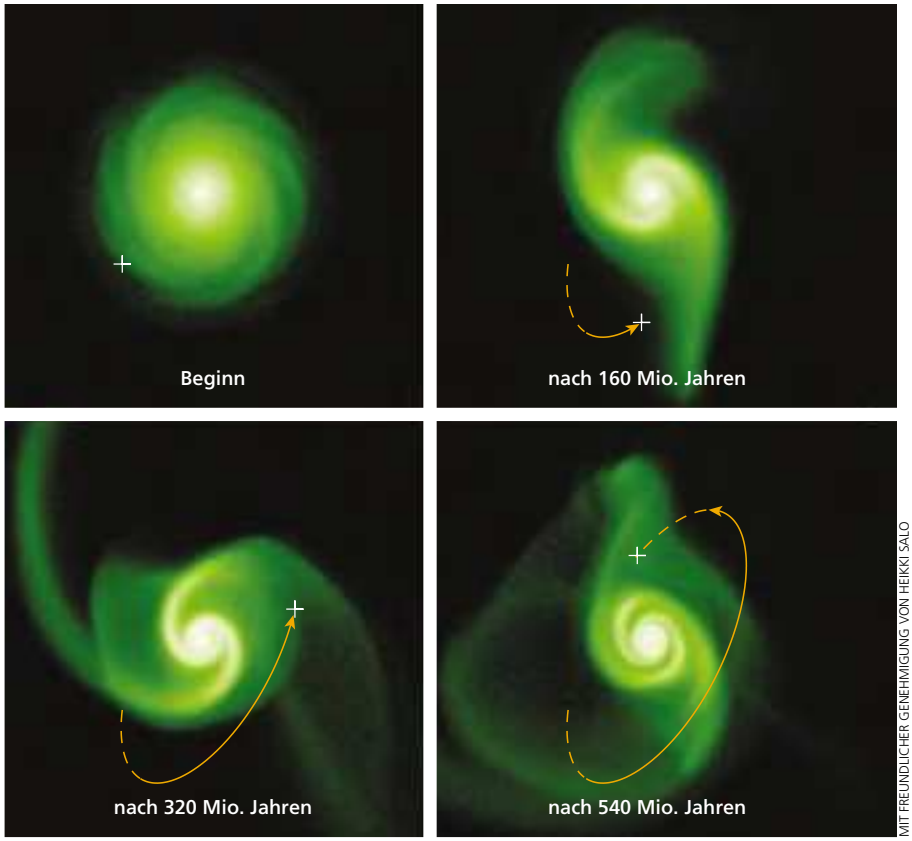
Einige Jahre später veröffentlichte sie ihre Ideen in drei Artikeln für das Astrophysical Journal. Darin behauptete sie, die Spirale selbst sei der Weg, den die Sterne nehmen. Demnach geben die Sterne über einen weiten Bereich der Scheibe einen Teil ihres Drehimpulses an die Spiralarme ab. Als Folge sinken sie jedes Mal, wenn sie den Wellenkamm kreuzen, ein wenig weiter in Richtung Zentrum. Die Welle befördert den Drehimpuls in die äußere Scheibe, deren Sterne dadurch noch weiter nach außen driften. Der Innenbereich verklumpt schließlich zu einem strukturlosen Brei, wie er auch in elliptischen Galaxien zu beobachten ist.

Kosmische Unordnung

Diese Hypothese, so Zhang, erklärt zwanglos vieles, was im Rahmen anderer Erklärungsmuster eher seltsam wirkt. So haben jüngste Beobachtungen mit dem Hubble-Weltraumteleskop und mit terrestrischen Instrumenten gezeigt, dass der Anteil elliptischer Galaxien heute größer ist als in der Vergangenheit, wobei die Gesamtzahl aller Galaxien etwa konstant blieb. Theorien wie die von Zhang lassen sich allerdings erst mit Hilfe des James-Webb-Weltraumteleskops testen; im Jahr 2010 soll der Hubble-Nachfolger im Orbit stationiert werden.

Doch Zhangs Überlegungen gehen noch weiter. Alle physikalischen Systeme, so erklärt sie, streben einem Zustand höchster Unordnung zu – im Fachjargon Entropie. Das gilt auch für Galaxien. Deren Spiralmuster, die ja selbst geordnete Strukturen sind, helfen ihnen paradoxerweise dabei. Dieses überraschende Konzept geht auf die kontroversen Ideen des

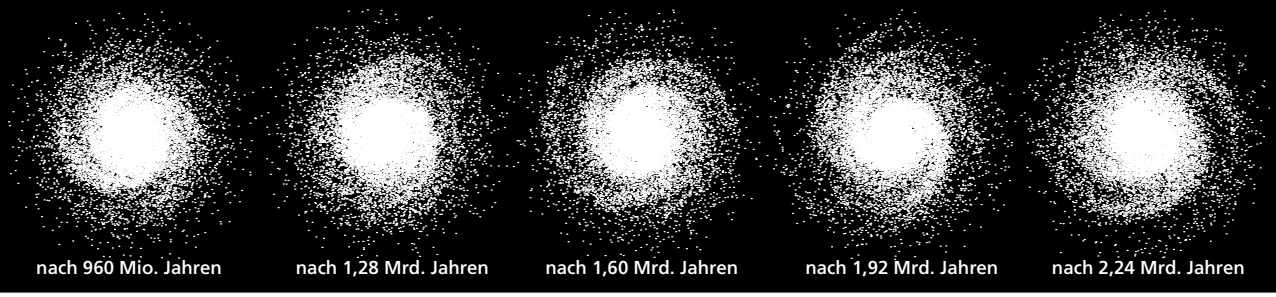
Was geschieht, wenn zwei Galaxien eng aneinander vorbei fliegen? In diesem Computermodell des M 51/NGC 5195-Systems im Sternbild Jagdhunde wird die Scheibe von M 51 (grün) durch die Schwerkraft von NGC 5195 (Kreuz) auseinander gezogen und wickelt sich dann zu Spiralarmen auf. Heikki Salos Modell lässt jedoch auch die Möglichkeit zu, dass M 51 bereits vor der Begegnung mit seiner Satellitengalaxie Spiralen besaß. Die ellipsenförmigen Linien zeigen deren Bahn um M 51.



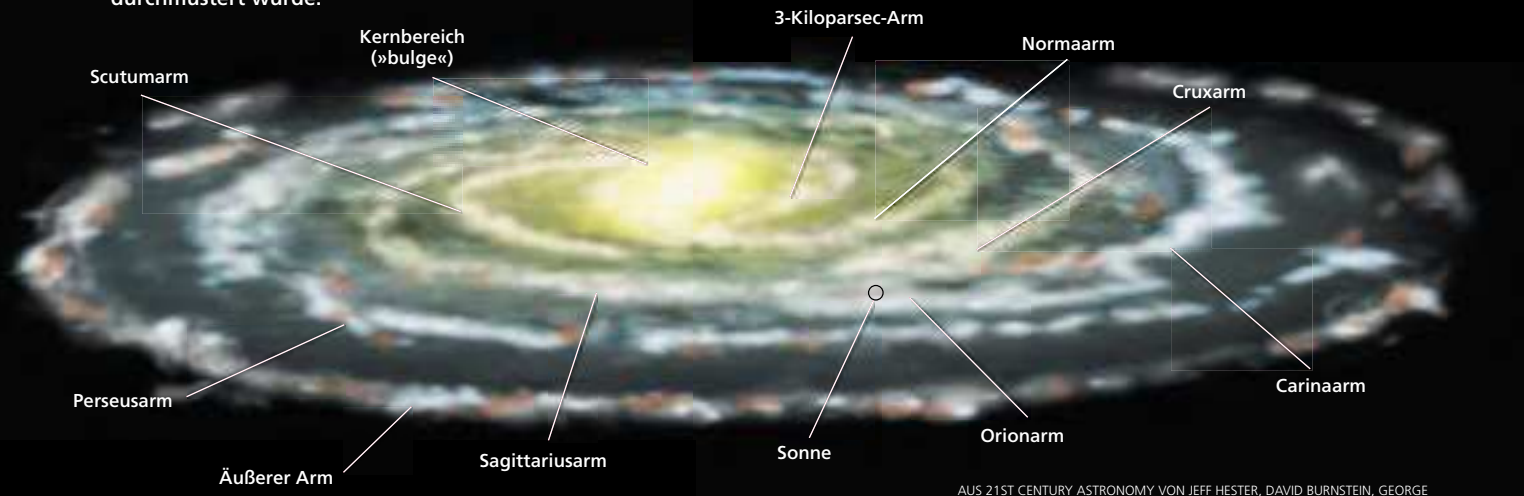
MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON HEIKKI SALO

Stehende Wellen

Auf dem Meer scheinen Wellenberge über das Wasser zu laufen. Anders bei stehenden Wellen: In regelmäßigen Abständen haben sie unbewegliche »Knoten«, an denen sich das Wasser weder hebt noch senkt. Zwischen benachbarten Knoten aber kommt es zu einem steten Wechsel von Wellenbergen und -tälern. Die Berge laufen nicht davon, sondern verwandeln sich an Ort und Stelle in Täler und wieder zurück. Solche Muster entstehen, wenn auf ein Hindernis zulaufende Wellen von den dort reflektierten Wellen so überlagert werden, dass sich Wellentäler und -berge gegenseitig verstärken. Hinter Rennbooten sind stehende Wellen zu beobachten, hier dient der äußere Rand des Kielwassers als Hindernis. Stehende Dichtewellen in Galaxien lassen sich auf die Reflektion an interstellarer Materie zurückführen.



Sähen wir unsere Milchstraße von außerhalb, so erblickten wir viele dünne, relativ eng gewickelte Spiralarme und einen schwachen Balken im Inneren der Galaxis. Diese Illustration beruht auf jahrzehntelangen Beobachtungen, bei denen unter anderem Radiokarten von atomarem Wasserstoff erstellt wurden und der innere Sphäroid der Milchstraße (»bulge«) mit Hilfe des Gravitationslinseneffekts durchmustert wurde.



AUS 21ST CENTURY ASTRONOMY VON JEFF HESTER, DAVID BURNSTEIN, GEORGE BLUMENTHAL, RONALD GREELEY, BRADFORD SMITH, HOWARD VOSS UND GARY WEGNER. MIT GENEHMIGUNG DES VERLAGS, W. W. NORTON & COMPANY, INC.

belgischen Nobelpreisträgers für Chemie, Ilya Prigogine, zurück. Prigogine argumentierte, dass viele physikalische Systeme in einem Zustand weit außerhalb des Gleichgewichts geordnete Strukturen ausbilden, um mit deren Hilfe maximale Unordnung herzustellen. So führt etwa ein hoher Temperaturunterschied zwischen oberer und unterer Erdatmosphäre zu geordneten Luftströmen. Diese durchmischen die Luftmassen und verringern so die Temperaturdifferenz. Galaktische Spiralen organisieren sich in ähnlicher Weise, vermutet Zhang: Die Sterne in den Armen einer Spiralgalaxie versuchen, sich auf das Zentrum der Galaxie zuzubewegen.

Auch der Stellardynamiker Sellwood entwickelte vor kurzem noch eine weitere Hypothese, die einerseits die Spiralstruktur zu erklären versucht, andererseits aber nicht davon ausgeht, dass Störungen durch Masseklumpen angeregt werden. Dieser Mechanismus reiche nicht aus, so Sellwood, um großräumige Wellen anzuregen. Sein Vorschlag beruht auf der Drehimpulsverteilung der Sterne. Gemeinhin nimmt man an, dass die Drehimpulse der Sterne in einer Galaxie gleich verteilt sind. Tatsächlich, so Sellwood, könnte eine Galaxie jedoch eine oder mehrere Drehimpuls-»Lücken« haben – einen Mangel an Sternen mit bestimmten Drehimpulsen.

In der Computersimulation wird deutlich, dass »diese Lücken die Scheibe destabilisieren und ein Spiralmuster erzeugen«, so Sellwood. An bestimmten Stellen tritt die Umlauffrequenz der Spirale zudem mit der Umlauffrequenz der Sterne in Resonanz: So wie eine Welle einem Surfer einen großen Schwung geben kann, wenn beide die gleiche Geschwindigkeit haben, treibt dieser Vorgang die Sterne auseinander. Dabei entstehen neue Lücken, die weitere Spiralstrukturen erzeugen, und schließlich kommt es zu komplexen, sich stets erneuernden Mustern wie denen einer im Wind flatternden Fahne. Um herauszufinden, ob er Recht hat, muss Sellwood auf die präziseren astrometrischen Daten von »Gaia« warten. Dieser Esa-Satellit soll jedoch erst im Jahr 2010 seine Arbeit aufnehmen.

Shu dagegen glaubt, dass die Erforschung der Spiralgalaxien wissenschaftliches Neuland erschließen könnte. Da sich einige Bereiche von Spiralgalaxien in die eine Richtung bewegen, andere jedoch in die entgegengesetzte, könnte der aufaddierte Drehimpuls der gesamten Struktur vielleicht null ergeben, überlegt er. Dies wiederum würde bedeuten, dass die Spiralstrukturen aus sich selbst heraus entstehen, ohne äußeren Antrieb.

Das wäre in der Tat etwas Neues. Die Wissenschaft hat gerade erst begonnen, sich mit solch erstaunlichen Phänomenen herumzuschlagen. Sogar das gesamte Universum könnte auf diese Weise entstanden sein, spekuliert Shu. »Manchmal«, sinniert der Astronom, »gibt es vielleicht doch etwas umsonst.« <<

Der in New York lebende Wissenschaftsjournalist **Jack Lucentini** ist auf die Themen Astronomie, Weltraumforschung und Computer spezialisiert.

Das neue Infrarot-Weltraumteleskop der Nasa

AUF DER SUCHE NACH

So sieht ein Infrarotteleskop die Milchstraße: Über 100 Millionen Sterne hinterließen auf dieser Aufnahme Spuren ihrer Wärmestrahlung. Unterhalb der Scheibe sind die Kleine und die Große Magellan'sche Wolke zu erkennen.

GLOSSAR

Braune Zwerge: Gasbälle mit weniger als 0,08 Sonnenmassen, deren Temperatur nicht hoch genug ist, um Fusionsprozesse zu zünden und sie zu Sternen werden zu lassen.

Starburst-Galaxie: Galaxien dieses Typs sind nach den Quasaren die leuchtkräftigsten Himmelsobjekte. Grund dafür ist, dass in ihnen besonders häufig junge, hell leuchtende Sterne entstehen. Ein solcher »Starburst« ist in vielen Fällen die Folge von Gezeitenkräften, die auftreten, wenn sich zwei Galaxien nahe aneinander vorbeibewegen (siehe »Das Rätsel der kosmischen Drehscheiben«, S.18).

KOSMISCHER WÄRME

SIRTF – das vierte der großen Weltraumobservatorien der Nasa – wird unsere Sicht des Infrarot-Universums schlagartig erweitern.

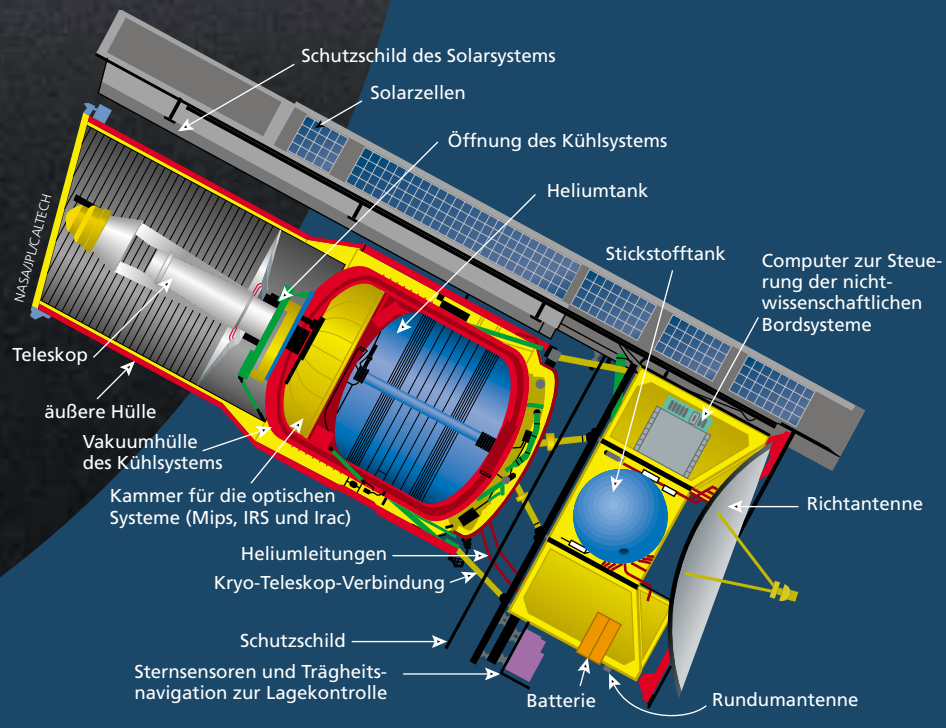
>> William H. Waller

Nach 25-jähriger Entwicklungsarbeit startet das Nasa-Infrarotteleskop »SIRTF« am 15. April zu seiner Forschungsmission in die Weiten des Alls. Das neue Weltraumobservatorium soll dabei in Regionen des Kosmos vordringen, die nie zuvor ein Teleskop gesehen hat, und mit bisher unerreichter Empfindlichkeit nach kosmischer Wärme suchen. SIRTF, der Name steht für »Space Infrared Telescope Facility«, kann praktisch jeden Himmelskörper untersuchen, der mindestens eine Temperatur von einigen Kelvin über dem absoluten Nullpunkt besitzt.

Ganz oben auf der Liste interessanter Beobachtungsobjekte stehen Braune Zwerge (siehe Glossar), noch in Entstehung befindliche Planetensysteme, riesige Gaswolken mit organischen Verbindungen sowie Protogalaxien, die aus einer Zeit stammen, als das Universum noch jung war.

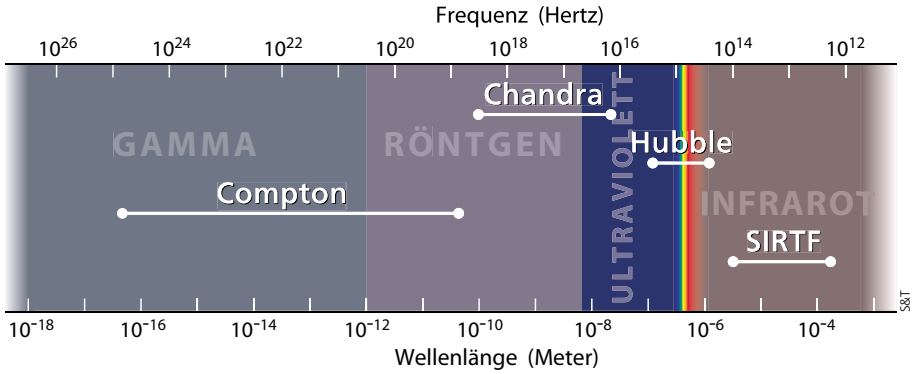
SIRTF ist die letzte fliegende Sternwarte aus dem »Great Observatories«-Programm der Nasa. Jedes der vier großen Satellitenobservatorien deckt einen anderen Ausschnitt des elektromagnetischen Spektrums ab.

Das Hubble-Weltraumteleskop wurde bereits vor 13 Jahren, im April 1990 vom Spaceshuttle »Discovery« in Position gebracht. Nach einigen Anfangsschwierigkeiten mit der Scharfsichtigkeit, die letztlich eine »Teleskopbrille« erforderlich machte, liefert es uns seit nunmehr zehn Jahren phantastische Bilder aus dem sichtbaren wie auch dem ultravioletten Spektralbereich. Die Aufnahmen mit ihrer äußerst hohen Auf- >



Das vier Meter lange Infrarotteleskop SIRTF bringt fast eine Tonne auf die Waage. Sein Spiegel hat einen Durchmesser von 85 cm, daran angeschlossen sind drei hochauflösende optische Instrumente. Mit einer Helium-Kühlanlage wird SIRTF im All auf eine Betriebstemperatur von eisigen 5,5 Kelvin (-267,65°C) heruntergekühlt. Das ist notwendig, damit die Eigenwärme der Instrumente nicht das schwache Infrarotleuchten weit entfernter Galaxien überstrahlt.

MILCHSTRASSE: JOHN CARPENTER (CALTECH), ROBERT HURT (IPAC), MICHAEL SKRUTSKIE (UMASS) / BILD VON SIRTF LINKS OBEN UND GRAFIK RECHTS UNTEN: NASA / JPL / CATECH



Mit dem Start von SIRTF ist das Quartett der vier »Großen Weltraumteleskope« komplett. Jedes der Instrumente arbeitet in einem anderen Frequenzbereich des elektromagnetischen Spektrums, um dort nach spektakulären Entdeckungen Ausschau zu halten. Idealerweise hätten sie alle gleichzeitig beobachten sollen.

> lösung begeistern Wissenschaftler wie auch die interessierte Öffentlichkeit gleichermaßen.

Nur ein Jahr später, im April 1991, brachte die Raumfähre »Atlantis« das Compton-Gammastrahlenteleskop in den Orbit. Fast ein Jahrzehnt lang löste es die Rätsel von Pulsaren, Schwarzen Löchern und geheimnisvollen Gammastrahlenausbrüchen. Doch dann versagte eines seiner beiden Lagekontrollsysteme. Da die Nasa das Risiko eines unkontrollierten Absturzes des 17-Tonnen-Satelliten nicht eingehen wollte, versenkte sie ihn im Juni 2000 im Pazifik.

Das Chandra-Röntgenteleskop war die Nummer drei im Quartett. Im Juli 1999 wurde es von dem im Februar verunglückten Shuttle »Columbia« ausgesetzt. Hilfsraketen hievten es in eine höhere Umlaufbahn, von der aus Chandra seitdem wertvolle Informationen über exotische Objekte wie Schwarze Löcher und Quasare liefert. Genau wie Hubble hat Chandra eine Lebenserwartung von gut zehn Jahren – vorausgesetzt, es treten keine gravierenden technischen oder finanziellen Probleme auf.

SIRTF hingegen wäre beinahe nicht gebaut worden. Denn gerade als in den 1990er Jahren das Nasa-Budget gekürzt wurde, explodierten die Kosten für dieses vierte, auf Infrarotstrahlung spezialisierte Weltraumteleskop. Das SIRTF-Team hatte damals nur zwei Optionen: entweder die Kosten zu halbieren oder das ganze Projekt zu begraben. Also strich es den teuren Shuttle-Flug und modifizierte das Raumfahrzeug so, dass das Teleskop und alle seine Instrumente auf einer wesentlich billigeren Delta-Rakete Platz haben.

Eine Aura dunkelroten Lichts

Während Sie diesen Text lesen, strahlt Ihr Körper eine Leistung von ungefähr hundert Watt ab. Den größten Teil davon als Infrarotlicht mit einer Wellenlänge von ungefähr zehn Mikrometern (ein Mikrometer ist ein millionstel Meter, kurz μm). Wäre Ihre Körpertemperatur zehnmal höher, würde Ihr Körper hauptsächlich Infrarotlicht mit einer Wellenlänge von einem Mikrometer abstrahlen. Einem

Galaktische Fragestellungen

Für die Beobachtungszeit auf SIRTF gab es im Jahr 2000 eine öffentliche Ausschreibung, aus der sechs Teams als Gewinner hervorgingen. Sie stehen für folgende Forschungsprogramme:

»Great Observatories Origins Deep Survey« (Goods)
Die Goods-Forscher untersuchen bis zu 12 Milliarden Lichtjahre entfernte Galaxien in verschiedenen Wellenlängen des Infrarotlichts, deren Entfernungen und Alter möglichst unterschiedlich sind. So hoffen sie, die Geschichte der Galaxien besser verstehen zu lernen. Besonders interessiert sie, wie Sterne in verschiedenen Galaxietypen entstehen und welche Strahlungsquellen den mysteriösen Infrarothintergrund erzeugen.

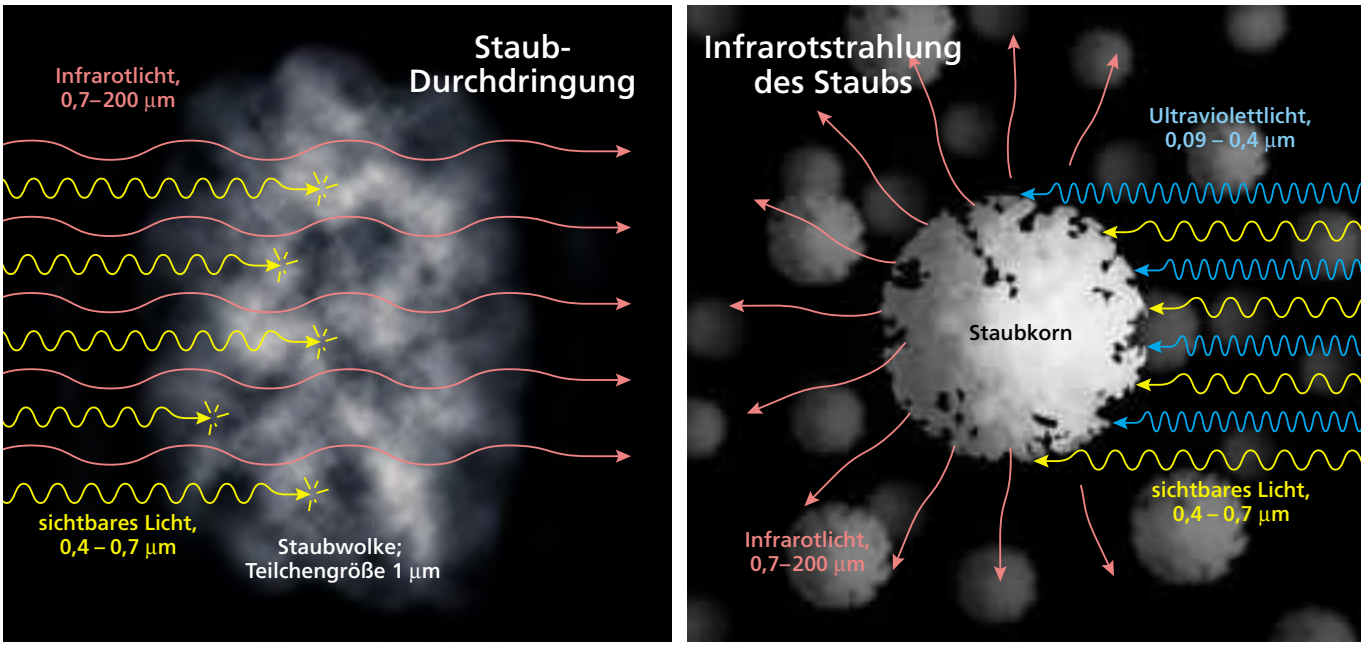
»SIRTF Wide-area Infrared Extragalactic Survey« (Swire)
Swire soll im Gegensatz zu Goods wesentlich größere Himmelsareale in geringerer Entfernung beobachten. Sieben große Regionen jenseits der Milchstraße sind bereits im Visier der Astronomen. Eine wichtige Fragestellung ist außerdem die Entstehung großräumiger Strukturen im All.

»SIRTF Nearby Galaxies Survey« (Sings)
Sings wird 75 Galaxien in einem Umkreis von hundert Millionen Lichtjahren um die Sonne vermessen. Aus der Untersuchung elliptischer, spiralförmiger und unregelmäßiger Galaxien sowie der selteneren »Starburst-Galaxien« (siehe Glossar) lässt sich die Häufigkeit der Sternentstehung in unserer kosmischen Nachbarschaft bestimmen. Außerdem wollen die Forscher untersuchen, wie es innerhalb von Galaxien zur Sternbildung kommt.

»Galactic Legacy Infrared Mid-Plane Survey Extraordinaire« (Glimpse)
Glimpse konzentriert sich auf die Regionen innerhalb der Bahn unserer Sonne um das galaktische Zentrum. Diese sind beinahe wissenschaftliches Neuland, da unsere Position in der Milchstraße den Blick in deren Inneres erschwert. Wahrscheinlich existieren dort ein Ring von Starbursts, Spiralarme aus Gas und jungen Sternen sowie ein Balken aus älteren Sternen. Glimpse soll die wichtigsten Prozesse in den verschiedenen Stadien der Sternbildung klären.

»From Molecular Cores to Planet-Forming Disks« (C2D)
C2D soll alle sternbildenden Wolken der Umgebung auf protostellare Wolken und protoplanetare Scheiben (die Vorläufer von Sternen und Planeten) sowie auf Braune Zwerge und Riesenplaneten untersuchen. Vor allem die räumlichen Anordnungen entstehender Stern- und Planetensysteme verraten viel über die Prozesse im Inneren von Molekülwolken.

»Formation and Evolution of Planetary Systems« (Feps)
Mittels hochauflösender Spektrografie sollen nahe sonnenähnliche Sterne untersucht werden. So lässt sich die Entwicklung von Staubhüllen um Sterne zu ausgewachsenen Planetensystemen verstehen. SIRTF spürt Staubgürtel bis in eine Entfernung von hundert Lichtjahren auf. Das wird helfen, die Frage nach der Einzigartigkeit unseres Sonnensystems zu beantworten und gleichzeitig weitere Planeten zu entdecken.



BEIDE GRAFIKEN: S&T / STEVEN SIMPSON

Viele Geheimnisse des Universums liegen hinter staubhaltigen interstellaren Wolken verborgen. Wenn sichtbares Licht auf eine solche Wolke trifft, wird es früher oder später von Staubkörnern in alle Richtungen gestreut. Astronomen fischen in solchen Himmelsregionen wie in einer trüben Suppe. Infrarolicht hingegen durchdringt diese Wolken dank seiner größeren Wellenlängen problemlos und gibt so den Blick frei auf die kosmischen Kostbarkeiten.

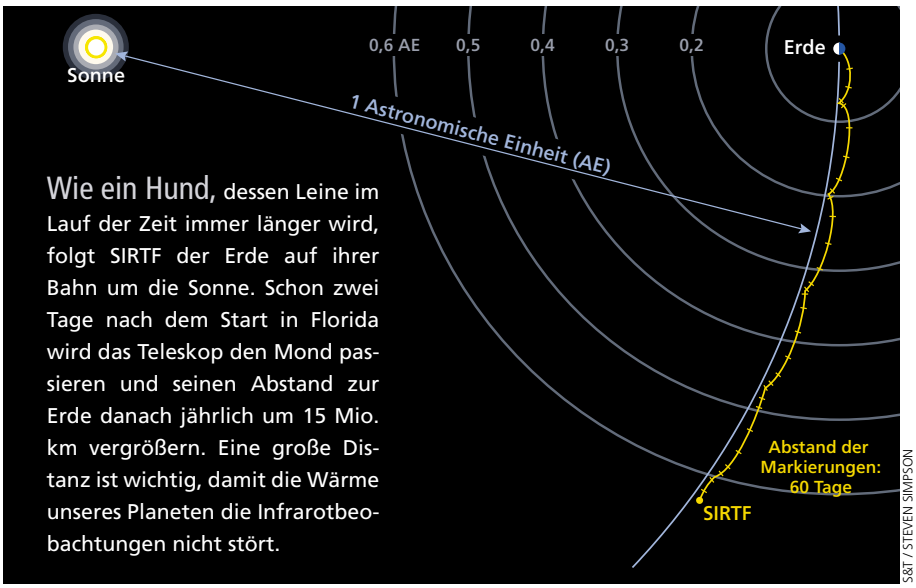
Beobachter erschienen Sie dann wie in eine Aura dunkelroten Lichts gehüllt. Betrüge Ihre Körpertemperatur umgekehrt nur ein Zehntel ihres Normalwerts, ginge von Ihren steif gefrorenen Gliedern eine langwellige Strahlung von hundert Mikrometern aus. Dieser Spektralbereich ist die Welt des SIRTF-Teleskops!

Als in den 1960er Jahren Halbleiterdetektoren auf den Markt kamen, gelang der Infrarotastronomie der Durchbruch. Flüssiges Helium mit einer Temperatur von 4,2 Kelvin als Kühlmittel steigert ihre Präzision so weit, dass selbst extrem schwach leuchtende Kometen im äußeren Planetensystem oder Galaxien am Rande des sichtbaren Universums beobachtbar werden.

Doch Wasserdampf und Kohlendioxid in der Erdatmosphäre machen diese für infrarotes Licht weitgehend undurchlässig. Daher beschränken sich irdische Observatorien auf nur wenige Beobachtungsfenster im nahen Infrarot. SIRTF hingegen operiert außerhalb der die Infrarotstrahlung störenden Atmosphärenschichten und soll die Strahlung jenseits dieser Fenster, also bei Wellenlängen größer als drei Mikrometer erforschen. Es öffnet uns damit die Tür zum weitaus größten Bereich des infraroten Spektrums. So sind die Forscher beispielsweise im mittleren Infrarotspektrum – zwischen fünf und 25 Mikrometer Wellenlänge – innerhalb wie auch außerhalb unserer Galaxis auf der Suche nach interstellarem Staub. Dieser besteht aus mikrometerkleinen Körnchen, fein zerstäubt wie der Rauch einer Zigarette. Wahrscheinlich setzt er sich aus Silikaten und Grafit zusammen und ist von einem gefrorenen Mantel umhüllt.

Doch Staub strahlt auch im sichtbaren Bereich und ist damit der Hauptgrund für unsere schlechte Sicht auf große Bereiche der Milchstraße. Für Infrarotlicht stellen diese kleinen Partikel jedoch überhaupt kein Hindernis dar. Hinter ihrem Schleier kommen Sterne in frühen Entwicklungsstadien zum Vorschein, die von dichten Wolken umhüllt sind, sowie Myriaden von Objekten im Innern gas- und staubreicher Galaxien, die optischen Teleskopen verborgen bleiben.

Im langwelligen Infrarotbereich, bei Wellenlängen von 25 bis zu mehreren hundert Mikrometern, dominiert Infrarotstrahlung von extrem kaltem interstellarem Staub. Dieser findet sich, wie Ergebnisse des Infrarotsatelliten Iras in den 1980er Jahren zeigten, überall: Wie ein dichter Schaum füllt er unsere ge- >



Wie ein Hund, dessen Leine im Lauf der Zeit immer länger wird, folgt SIRTF der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne. Schon zwei Tage nach dem Start in Florida wird das Teleskop den Mond passieren und seinen Abstand zur Erde danach jährlich um 15 Mio. km vergrößern. Eine große Distanz ist wichtig, damit die Wärme unseres Planeten die Infrarotbeobachtungen nicht stört.

S&T / STEVEN SIMPSON

NASA / JPL / CALTECH

NASA / JPL / CALTECH

RUSS UNDERWOOD (LOCKHEED MARTIN SPACE SYSTEMS)

Das leichte Element Beryllium ist das wichtigste Baumaterial für SIRTF. Auf dem linken Bild sind Techniker der Firma Ball Aerospace mit Arbeiten am Hauptspiegel beschäftigt. Im Labor von Lockheed Martin Space Systems verbinden Ingenieure das Teleskop mit seinem Antriebssystem (Mitte). Auf dem Bild rechts sind bereits die Strom erzeugenden Solarzellen, das Hitzeschild sowie der Antrieb montiert.

> samte Milchstraße aus. Manche Galaxien strahlen sogar fast nur im langwelligen Infrarotbereich – man nennt sie deshalb auch »ultraleuchtkräftige infrarote Galaxien« (kurz Ulirgs). Sie gehören zu den gewaltigsten Objekten im Universum. Forscher glauben, dass sie von extrem dichtem Staub umgeben sind und sich die Sternbildung in ihrem Innern in Wellen vollzieht.

Die meisten von ihnen beherbergen in ihren Zentren riesige Schwarze Löcher, die Sterne und Nebel in ihrer Umgebung verschlingen. Und weil Ulirgs so gewaltig sind, können sie auch aus großer Distanz entdeckt werden. SIRTF soll Ulirgs bis in einer Entfernung von 14 Milliarden Lichtjahren aufspüren. So kann die Entwicklung dieser extremen Galaxien über die gesamte Lebensdauer des Kosmos hinweg verfolgt werden.

Bei SIRTF kommt eine Vielzahl neuer Technologien zum Einsatz. Am auffälligsten ist wohl sein ungewöhnlicher Orbit: Einmal gestartet, entfernt sich das Weltraumteleskop immer weiter von der Erde, folgt ihr aber dennoch wie ein treuer Hund, dessen Leine immer länger wird. Ist sein Abstand zur Erde erst einmal größer als die Monddistanz, lässt sich SIRTF von der Erdwärme bei seinen Beobachtungen nicht mehr stören. Obwohl der Spiegel des Teleskops nur einen Durchmesser von 85 Zentimetern besitzt, ermöglicht ihm die große Kälte eine bessere Auflösung, als sie ein irdisches Teleskop jemals erreichen könnte – zumindest im Wellenlängenbereich jenseits von drei Mikrometern. Bei 3,6 Mikrometern sollte SIRTF bereits in der Lage sein, lichtschwache Objekte der 20. Größe zu lokalisieren. Das ist so, als würden Sie ein brennendes Streichholz noch in 45 000 Kilometern Distanz erkennen! Damit lässt SIRTF selbst terrestri-

Die Augen von SIRTF: Hightech an Bord des Weltraumteleskops

Die **»Infrared Array Camera« (Irac)** ist das Arbeitspferd des SIRTF im Bereich der kurzen und mittleren Infrarotwellen. Sie nimmt Bilder in vier Wellenlängenbereichen gleichzeitig auf, und zwar bei 3,6; 4,5; 5,8 und 8,0 Mikrometern. Ihre Detektoren, die in einem Messfeld zusammengeschaltet sind, decken jeweils einen Himmelsausschnitt von 5,1 × 5,1 Bogenminuten ab. Zur Darstellung größerer Bereiche können Einzelbilder auch zusammengefügt werden.

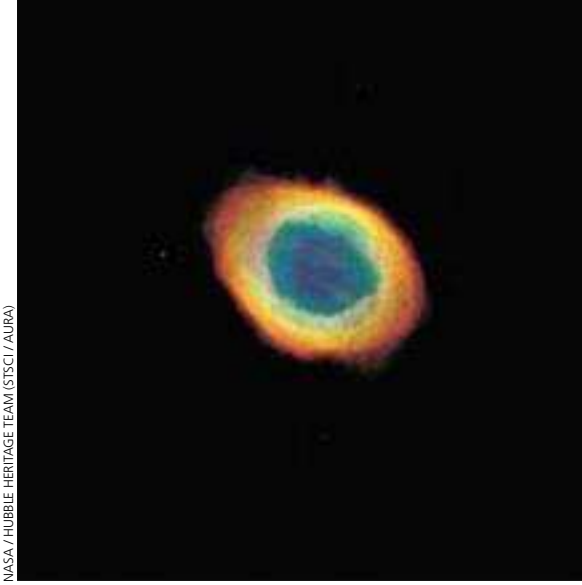
Ergänzt wird Irac durch das **»Multiband Imaging Photometer for SIRTF« (Mips)**. Es ist auf lange Wellenlängen von 24, 70 und 160 Mikron spezialisiert und liefert hochauflösende Bilder und fotometrische Daten. Wird der Lichtstrahl durch ein Beugungsgitter geführt, kann Mips Infrarotquellen bei einer Vielzahl von Wellenlängen zwischen fünfzig und hundert Mikrometern messen und liefert so neben den räumlichen Informationen auch spektrale Daten.

Die höchste Auflösung erreicht jedoch der **Infrarotspektrograf »IRS«**. Er untersucht Wellenlängenbereiche zwischen 5,3 und 40 Mikron und löst dabei spektrale Details bis zur Größe von 0,01 Mikrometer auf. Nur so lassen sich die zahlreichen Emissions- und Absorptionslinien unterscheiden, die Wasserstoff-, Wasser- und Kohlendioxidmoleküle, aber auch organische Verbindungen im Infrarotbereich aufweisen. IRS kann die chemische Zusammensetzung von Galaxien und intergalaktischen Gasen ebenso wie die von Vorläufern von Planetensystemen und Sternen bestimmen.

Startvorbereitungen

Der Zusammenbau von SIRTF erfolgte im Juni 2001 bei der Firma Ball Aerospace im US-Bundesstaat Colorado. Dabei wurden Irac, Mips und IRS angeschlossen sowie die Kühltechnik und die Steuerungselektronik installiert. Das war für die Wissenschaftler die letzte Gelegenheit, SIRTF »unter die Motorhaube« zu schauen und Änderungen vorzunehmen. Im November 2001 wurde das ganze System bei Lockheed Martin Space Systems in Kalifornien in das Raumfahrzeug integriert. Seitdem wurde SIRTF ersten Tests unterzogen, bei denen es die hohen Erwartungen bisher auch voll erfüllte.

Am 6. März 2003 traf SIRTF am Kennedy-Raumfahrtzentrum in Florida ein und wurde dort auf eine Boeing-Delta-II-Rakete montiert. Laut Plan soll die Rakete am 15. April 2003 von der Startrampe abheben. Geht alles gut, rechnen die beteiligten Forscher nach einer rund dreimonatigen Testphase ab August mit den ersten wissenschaftlichen Daten. Einmal im Orbit, wird SIRTF vom Jet Propulsion Laboratory (JPL) und vom SIRTF Science Center (SSC), beide in Pasadena (Kalifornien), betreut. Dort laufen die gewonnenen Beobachtungsdaten ein und werden weltweit an die beteiligten Astronomen verteilt.



NASA / HUBBLE HERITAGE TEAM (STSCI / AURA)

2MASS

Der berühmte Ringnebel im Sternbild Leier, hier einmal im sichtbaren (oben) und einmal im Infrarotlicht (unten). Der Vorteil solcher Vergleiche fällt sofort ins Auge: Zwar ist im Infraroten der zentrale blaue Stern so gut wie verschwunden, dafür treten die Sterne hinter den Gaswolken umso klarer hervor. Das Infrarotbild wurde bei einer Wellenlänge von 2 µm aufgenommen. Das Bild aus dem sichtbaren Bereich des Spektrums stammt vom Hubble-Weltraumteleskop.

sche Teleskope mit acht oder zehn Meter Spiegeldurchmesser weit hinter sich.

Die Optik von SIRTF wiegt dabei nicht einmal fünfzig Kilogramm. Außer den Spiegelhalterungen bestehen alle Bauteile aus dem Element Beryllium, das sich durch sein geringes Gewicht und auch dadurch auszeichnet, dass es nur wenig Wärme speichert und so die Messungen kaum stört. Der Hauptspiegel hat ein beeindruckendes Öffnungsverhältnis von f/1,2, das Teleskop erreicht bei 6,5 Mikrometern Wellenlänge eine Winkelauflösung von 1,5 Bogensekunden.

Eine Seite des Teleskops ist ständig der Sonne zugewandt, damit das dort angebrachte Solarmodul elektrische Energie produzieren kann. Benötigt werden 427 Watt – das entspricht in etwa dem Bedarf von zwei Computern. Die sonnenabgewandte Seite ist dagegen schwarz, damit die Eigenwärme der Solarzellen und des Teleskops möglichst effektiv in den Weltraum abgestrahlt wird. Die Betriebstemperatur von eisigen 5,5 Kelvin erreicht man, indem man in einem kleinen Kühlgerät kontinuierlich flüssiges Helium verdampft. Dieser »Kryostat« befindet sich hinter dem optischen System. Mit seinem Heliumvorrat soll SIRTF fünf Jahre auskommen – ein großer Fortschritt gegenüber der Iso-Mission, deren Tank sechsmal größer war, aber nur für 28 Monate reichte.

Mysteriöse Hintergrundstrahlung

Mit SIRTF fliegen drei der besten Infrarotkameras und Spektrografen ins All, die jemals gebaut wurden (siehe Kasten). In mühevoller Kleinarbeit wurden sie unzählige Male verändert, um die Anzahl ihrer beweglichen Teile zu verringern und damit auch die Zahl möglicher Probleme im Orbit. Alle Systeme müssen von Anfang an funktionieren, denn erste Hilfe wie beim Hubble-Teleskop können Astronauten aufgrund der Bahn des SIRTF diesmal nicht leisten.

Bereits in den frühen 1980er Jahren kartierte der Infrarotsatellit Iras den kompletten Himmel mit einer Winkelauflösung von mehreren Bogenminuten. SIRTF dagegen soll nicht den gesamten Himmel absuchen. Seine Geräte sind tausendmal empfindlicher und seine Auflösung 200-mal höher als die von Iras, so kann es durchaus passieren, dass SIRTF bislang unbekannte Objekte entdeckt.

Anfang der 1990er Jahre durchsuchte der Forschungssatellit »Cosmic Background Explorer« (Cobe) das ganze Firmament sowohl im Infrarot- als auch im Submillimeter-, Millimeter- und Mikrowellenbereich. Cobe entdeckte eine seltsame infrarote Hintergrundstrahlung unbekannter Herkunft. Die Iso-Mission konnte diese Strahlung zwar in einzelne Quellen auflösen, doch eine Erklärung dafür fand auch sie nicht. Mit SIRTF können wir vielleicht endlich herausfinden, was es mit diesem diffusen Hintergrundleuchten auf sich hat.

Was wartet noch auf SIRTF in der eisigen Ödnis zwischen Planeten, Sternen und Galaxien? Vielleicht stößt das neue Teleskop ja auf unbekannte Formen Dunkler Materie oder findet neue organische Verbindungen in der Milchstraße. Auf der Suche nach ein wenig Wärme im bitterkalten Kosmos hat SIRTF auf jeden Fall das Potenzial für völlig unerwartete und spektakuläre Entdeckungen. <<

William H. Waller ist Professor für Astronomie an der Tufts University und Mitbegründer der von der Nasa finanzierten New England Space Science Initiative in Education (Nessie).

Unsere Sonne – ein Modellstern?

DIE SOLAR-STELLAR –

Die Sonne ist der uns am nächsten liegende Stern. Wir sehen deshalb Details auf ihrer Oberfläche und in ihrem Innern, die uns bei anderen Sternen für sehr lange Zeit oder vielleicht für immer verborgen bleiben werden. Aber ist die Sonne ein Stern wie alle anderen? Ist sie Clubmitglied oder Außenseiter? Können wir etwas aus dem Studium der Fixsterne über unsere Sonne lernen?

. >> Jürgen H. M. M. Schmitt

Die Sonne macht es uns leicht: Gerade einmal 150 Millionen Kilometer entfernt, lässt sie sich genauestens untersuchen. Die meisten Fixsterne sind zu weit weg, um Details ihres Innenlebens erforschen zu können. Eine Schwierigkeit bleibt dennoch bestehen: Unser rund fünf Milliarden Jahre altes Zentralgestirn, das gerade einmal die Hälfte seines Lebens hinter sich hat, befindet sich in einer ganz speziellen Phase seiner Entwicklung. Sind die im gegenwärtigen Stadium gewonnenen Erkenntnisse dennoch typisch für die Sonne, und wenn ja, dann vielleicht auch für andere Sterne? Stellarastrophysiker versuchen, diese Frage nach der »Solar-Stellar-Connection« zu beantworten. Sie entschlüsseln die Vorgänge auf Sternen, indem sie Erkenntnisse aus der Sonnenphysik auf diese anwenden. Umgekehrt dient ihnen die Sternphysik dazu, unsere Sonne besser zu verstehen.

Wir wissen heute, dass der Raum zwischen den Planeten nicht leer ist, sondern von einem dünnen heißen Medium durchströmt wird, dem Sonnenwind. Seit dem Beginn des letzten Jahrhunderts ist bekannt, dass geomagnetische Stürme auf der Erde durch die Aktivität der Sonne ausgelöst werden. Man spricht deshalb auch von »Weltraumwetter« (lesen Sie dazu auch Krupps Corner auf S. 92 in diesem Heft). Es wird durch Protuberanzen und Massenauswürfe in der äußersten Atmosphärenschicht der Sonne bestimmt, der Korona (siehe Grafik Seite 37). Diese Phänomene sind eng gekoppelt mit dem solaren Magnetismus. Der am leichtesten nachweisbare Fingerabdruck des Magnetfelds sind die Sonnenflecken, die als dunkle Bereiche selbst in kleinen Teleskopen und zum Teil sogar mit bloßem Auge beobachtbar sind. Die ersten Beschreibungen von Sonnenflecken im abendländischen Kulturraum gab es schon zu Beginn des 17. Jahrhunderts, bald nach der Erfindung des Teleskops. Aber erst im Jahr 1843 wurde das periodische Auftauchen der Sonnenflecken bemerkt, übrigens von einem Amateurastronomen, Heinrich Schwabe aus Dessau. Er entdeckte, dass die Anzahl von Sonnenflecken auf der Oberfläche der Sonne mit einer Periode von etwa elf Jahren zwischen Minimum und Maximum schwankt. Seit den 1950er Jahren ist bekannt, dass sich das Magnetfeld der Sonne in elf Jahren komplett umpolt und damit der Zyklus eigentlich 22 Jahre beträgt.

Bereits seit Mitte des 19. Jahrhunderts gibt es systematische Sonnenbeobachtungen. Durch mehr oder weniger zuverlässige Schätzungen lässt sich die Sonnenfleckenzahl bis Anfang des 17. Jahrhunderts zurückverfolgen, sodass die Anzahl der Flecken über die Zeit hinweg wohl die am besten dokumentierte astronomische Zeitreihe überhaupt darstellt. Interessanterweise ist der physikalische Grund für die Schwankungen in der Zahl der Sonnenflecken bis heute noch nicht vollständig verstanden.

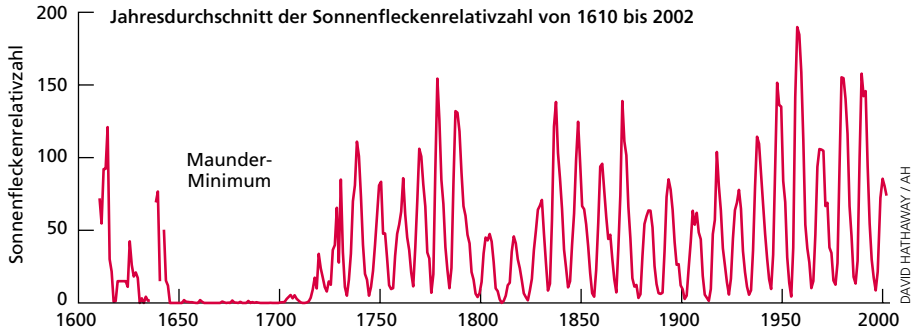
Mit der Anzahl der dunklen Flecken verringert sich auch die Gesamtleuchtkraft der Sonne – ein Effekt im Promillebereich. Dieser Befund hat zu vielen Mutmaßungen über einen möglichen Einfluss der Sonnenaktivität auf das Erdklima geführt. Insbesondere wurde die Zeit des »Maunder-Minimums« – das ist eine ausgeprägte Periode der Abwesenheit von Sonnenflecken zwi- >

– CONNECTION

AKIRA FUJII

NASA / ESA

Unsere Sonne zeigt in diesem Ultraviolettbild der Raumsonde Soho vom 14. September 1997 drei helle, aktive Regionen in der Chromosphäre und eine spektakuläre Protuberanz. Durch die Erforschung anderer Sterne wie Kapella (kleiner Ausschnitt, ganz oben) können wir viel über unseren Heimatstern lernen.



Sonnenflecken werden in Europa seit der Erfindung des Fernrohrs beobachtet und protokolliert. Auffällig ist das Fehlen von Flecken in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts – eine Periode kalten Wetters auf der Erde. Danach setzt der charakteristische Zyklus mit den 11 Jahre breiten Spitzen wieder ein.

> schen etwa 1650 und 1720 – mit dem Auftreten von besonders strengen Wintern in Europa und Nordamerika in Zusammenhang gebracht. Bilder der niederländischen Landschaftsmaler mit zugefrorenen Grachten stammen fast stets aus dieser Periode. Auch Berichte über Londoner Volksfeste auf der zugefrorenen Themse gibt es aus dieser Zeit. Warum die Sonne gegen 1650 beschloss, in ein Maunder-Minimum einzutreten, ist unbekannt. Von allergrößtem Interesse ist natürlich die Frage, ob dies in nächster Zeit wieder passieren kann.

Mysteriöses Gewand der Sonne

Die am Taghimmel sichtbare Sonnenscheibe ist von der Korona umgeben, einer dünnen äußeren Hülle, die früher nur während totaler Sonnenfinsternisse gesehen werden konnte. Wenn der Mond die Sonne vollständig bedeckt, tritt die Korona als eine aufgesetzte Strahlenkrone in Erscheinung – daher der Name. Die ersten spektroskopischen Beobachtungen der Korona erwiesen sich als sehr rätselhaft, da die Strahlung Emissionslinien aufweist, die zu keinem von der Erde bekannten chemischen Element oder Molekül passen (siehe auch Kippenhahns »Heavy Metal« auf S. 64). Manche Astrophysiker gingen so weit, die Existenz eines neuen Elements, des »Coroniums«, vorzuschlagen, um die rätselhaften Emissionslinien zu erklären. Im Fall des Heliums, das seinen Namen vom griechischen Wort für Sonne (»Helios«) ableitet, war diese Vorgehensweise seinerzeit richtig gewesen.

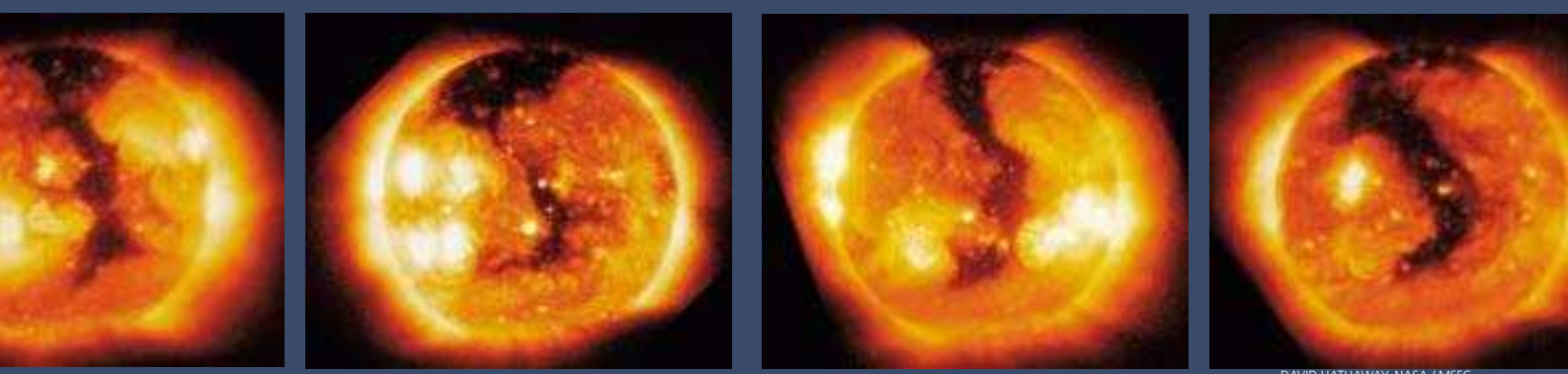
Das Rätsel der Emissionslinien der Korona wurde Anfang der 1940er Jahre von Walter Grotrian und Bengt Edlen gelöst. Sie fanden heraus, dass die beobachteten Linien zu hochionisiertem Eisen und Kalzium passen. Aber um diesen Metallen genügend Elektronen zu entreißen, sind Temperaturen von einer Million Grad Celsius und darüber notwendig – so viel wie im innersten Kern der Sonne. Nach der Theorie der Sternstruktur muss die Temperatur in der Sonne aber vom Zentrum zur Oberfläche hin stetig abnehmen. Ein Anstieg der Temperatur nach außen steht in Widerspruch zu elementaren Gesetzen der Thermodynamik. In der Tat beträgt die Temperatur an der Oberfläche der Sonne auch »nur« etwa 6000 Grad Celsius – viel zu niedrig, um die Metalle so stark zu ionisieren.

Trotzdem wurde die hohe Temperatur in der Korona kurz nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs durch Beobachtungen bestätigt: »Plasma«, das ist heißes, ionisiertes Gas, strahlt den Großteil seiner Energie im Röntgenbereich ab. Einer amerikanischen Forschergruppe unter der Leitung von Herbert Friedman gelang der Nachweis von Röntgenstrahlen durch Messgeräte an Bord einer – ursprünglich in Deutschland für Kriegszwecke entwickelten – Rakete. Die solare Röntgenastronomie nahm einen enormen Aufschwung, als kurz vor 1970 Röntgenteleskope gestartet wurden, die erstmals verschwommene Bilder der Sonnenkorona lieferten. Heute wird die Sonne täglich von einer ganzen Satellitenarmada in bisher nicht dagewesener Genauigkeit untersucht. Ihre Bilder werden ständig zur Erde übertragen und stehen innerhalb von 24 Stunden jedem über das Internet zur Verfügung.

Heiße Flecken – dunkle Löcher

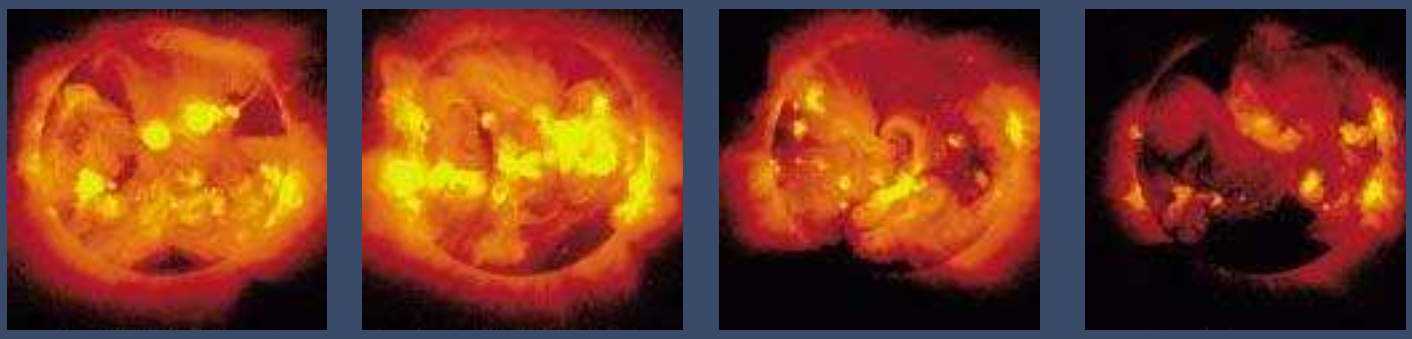
Die Röntgenbilder der Sonne zeigen die verwirrende Vielfalt und Komplexität der Korona. Sie weist keine einfachen Symmetrien auf, sondern besteht vielmehr aus Hunderten, gar Tausenden einzelner bogenförmiger Strukturen, die mit heißem Gas angefüllt sind, das die Röntgenstrahlen aussendet. Besonders intensive Emission kommt dabei aus den Gebieten, die über den Sonnenflecken liegen. Die Physiker sprechen hier von >

Die Raumstation Skylab zeichnete mit ihrem Röntgenteleskop die Veränderung der Sonnenkorona während der Sommermonate des Jahres 1973 auf.



DAVID HATHAWAY, NASA / MSFC

ANZEIGE



> »aktiven Regionen«. Daneben gibt es vergleichsweise dunkle Gebiete, die »koronalen Löcher«. Heute wissen wir, dass die Unterschiede durch Lage und Form des Magnetfelds hervorgerufen werden.

In den koronalen Löchern treten die Magnetfeldlinien aus der Sonnenoberfläche heraus und weisen in den interplanetaren Raum, während in aktiven Regionen die Feldlinien aus der Sonne austreten und wieder in sie zurückkehren. Man spricht in letzterem Fall von einer geschlossenen Magnetfeldtopologie. Im Gegensatz zur Erde, die ein geordnetes Magnetfeld besitzt, das wir mit einem Kompass zur Orientierung verwenden können, verlaufen die Feldlinien der Sonne vergleichsweise chaotisch – wie die Fäden in einem losen Wollknäuel. Die vielen in den Röntgenaufnahmen sichtbaren Bögen wirken wie kleine »magnetische Flaschen«, in denen heißes Plasma, das aus negativ geladenen Elektronen und positiv geladenen Atomrümpfen besteht, eingeschlossen ist. Dieser Einschluss hält einige Stunden, in einzelnen Fällen auch Tage und Wochen. Die Sonne realisiert damit so ganz nebenbei den Traum vieler Physiker, die superheißes Plasma für die Energieerzeugung durch Kernfusion in magnetischen Flaschen einschließen wollen, damit das Plasma nicht die Reaktorwände berührt und zum Schmelzen bringt.

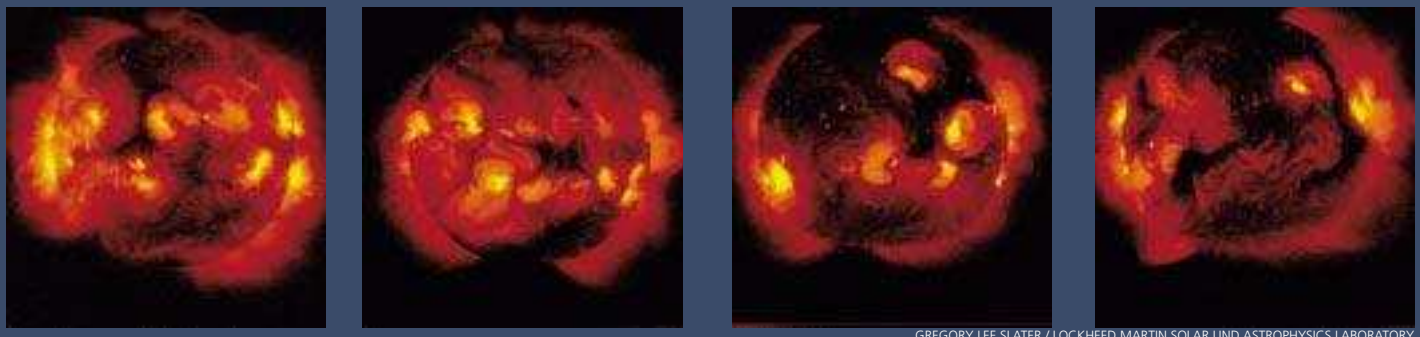
Die Forscher sind sich mittlerweile einig, dass das Magnetfeld der Sonne auch für die Eigenschaften der Korona verantwortlich ist, denn die Röntgenbeobachtungen zeigen sowohl seine Struktur als auch seine raschen Veränderungen. Die hohe Temperatur des koronalen Plasmas erfordert aber einen Heizmechanismus, der dem Sonneninnern Energie entzieht und diese der Korona zuführt. Einer früheren Lehrmeinung zufolge sollen dafür Schallwellen verantwortlich sein, die in der äußeren Konvektionszone der Sonne reichlich entstehen (siehe Grafik auf der gegenüberliegenden Seite). Die Erzeugung von Schallwellen durch Luftströmungen ist ein auf der Erde wohl bekanntes und gut studiertes Phänomen – denken Sie an den Wind, der durch die Gassen pfeift oder an den Lärm, der von Düsenflugzeugen produziert wird. Das Problem mit Schallwellenheizung auf der Sonne ist aber: Diese müsste eine räumlich und zeitlich homogene Korona hervorrufen, was in eklatantem Widerspruch zu den Beobachtungen steht. Heute besteht Einigkeit darüber, dass die koronale Heizung magnetischer Natur ist. Wie das genau funktioniert, ist aber noch unklar. Die Suche der Sonnenphysiker nach diesem Mechanismus gleicht der nach dem Heiligen Gral.

LEON GOLUB

Die Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991 **ermöglichte die gleichzeitige Aufnahme von optischen Bildern der Korona und Röntgenbildern der Sonnenoberfläche, die zu dieser Fotomontage zusammengefügt wurden.**

Kosmischer Leitstern Kapella

Was der Sonne recht ist, sollte anderen Sternen nur billig sein. Strahlen die Fixsterne also ebenfalls im Röntgenbereich? Und wenn ja, können wir das über die große Entfernung noch feststellen? Es war eine große Überraschung, als Astronomen 1974 Röntgenemission von Kapella entdeckten, dem hellsten Stern im Fuhrmann. Dieser wurde während eines Raketenflugs als Leitstern für die Orientierung benutzt und stellte sich unerwartet als Röntgenquelle heraus. Schnell wurde ausgerechnet, dass Kapella etwa 10000-mal mehr Röntgenstrahlung aussendet als unsere Sonne. Heute wissen wir: Kapella gehört zu einer besonderen Klasse von Doppelsternen, den RS-Canum-Venaticorum-Sternen (RS CVn, nach dem ersten entdeckten System dieser Art in den Jagdhunden). Solche Systeme bestehen aus zwei Sternen, Komponenten genannt, die einander relativ eng in nur einigen Tagen umkreisen. Beide



GREGORY LEE SLATER / LOCKHEED MARTIN SOLAR UND ASTROPHYSICS LABORATORY

Yohkoh, der japanische Röntgensatellit, verfolgte im letzten Jahrzehnt den Röntgenausstoß der Sonne vom solaren Maximum zum solaren Minimum, wobei dessen Intensität auf ein Tausendstel abfiel. Die Gesamtstrahlung der Sonne blieb dabei aber fast gleich.

Komponenten sind meist schon älter und leicht aufgebläht, das heißt, sie sind größer als Hauptreihensterne wie unsere Sonne.

Der Durchbruch in der Röntgenastronomie kam mit dem Start von Satelliten, die als Nutzlast große Röntgenteleskope mit sich führten. Seit 1999 sind zwei große Röntgenobservatorien mit abbildenden Teleskopen im Weltraum: der amerikanische Chandra und der europäische XMM-Newton. Ihre Vorgängersatelliten, der US-amerikanische Einstein und der deutsche Rosat konnten bereits in den 1980er und 1990er Jahren zeigen, dass die Röntgenleuchtkraft vieler Sterne die der Sonne um ein Tausendfaches übertrifft, obwohl die Sterne ansonsten der Sonne recht ähnlich sind.

Welche Eigenschaft der Sterne bestimmt also die Höhe der Röntgenleuchtkraft? Schon bald nach Einsteins Start 1978 hatten die Forscher die Rotation der Sterne unter Verdacht. Im Fall von RS CVn-Doppelsternen wie Kapella ist die schnelle Drehung der beiden Partner umeinander für die hohe Röntgenemission verantwortlich. Auch die gesamte magnetische Aktivität eines Sterns ist umso größer, je schneller er rotiert.

Die Röntgenbeobachtungen zeigen aber, dass nicht nur die Rotation eine Voraussetzung für magnetische Aktivität ist, sondern auch die Konvektion: Die Astronomen fanden heraus, dass Röntgenemission stets bei solchen Sternen auftritt, die äußere Konvektionszonen besitzen (siehe Kasten unten), bei anderen Sternen jedoch nicht. Beispielsweise konnte von Wega, einem der hellsten und allernächsten Sterne vom Spektraltyp A, trotz intensivster Bemühungen keine Röntgenstrahlung nachgewiesen werden – obwohl Wega rund dreimal so groß und an der Oberfläche doppelt so heiß wie unsere Sonne ist (siehe »Planetarium«, S. 47).

Späte Sterne – Rote Zwerge

Dass Aktivität und Rotation gekoppelt sind und Erstere auf das Vorhandensein einer Konvektionszone angewiesen ist, sind Befunde, die nur durch das Studium der Fixsterne erzielt werden konnten. Durch die Beobachtung der Sonne alleine hätten diese Erkenntnisse nicht gewonnen werden können.

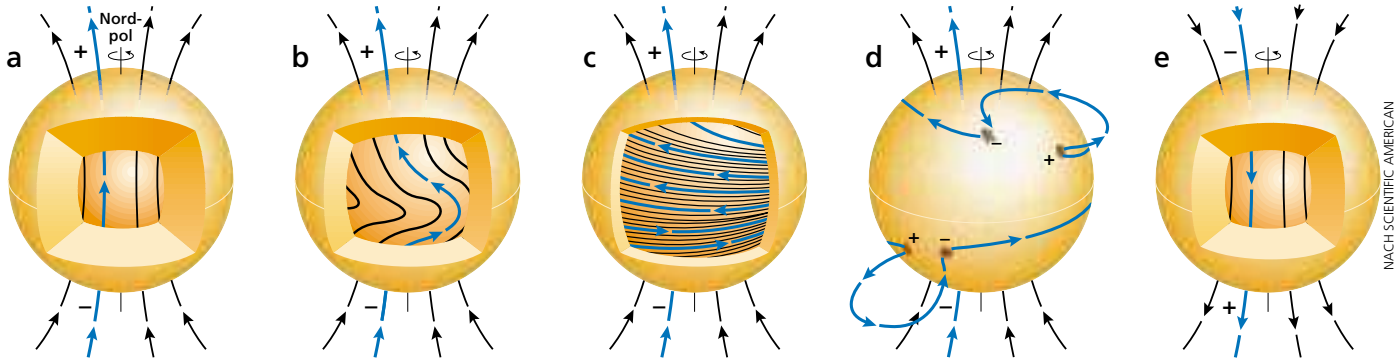
Derzeit untersuchen die Astrophysiker vorwiegend die Aktivität von »sehr späten Sternen«. Dazu zählen Rote Zwerge, die deutlich kleiner und kühler sind als unsere Sonne. Interessanterweise können diese Winzlinge eine Röntgenleuchtkraft aufweisen, die mit der der >

Die Zwiebelschalen der Sonne

Nach unserem heutigen Verständnis des Sternaufbaus findet die Kernfusion im innersten Bereich eines Sterns statt. Die Energie wird von dort langsam nach außen weitergeleitet – zuerst überwiegend durch **Wärmestrahlung** (das ist die Strahlung, die man spürt, wenn man die Hand in die Nähe einer kalten Fensterscheibe ins Sonnenlicht hält) und im äußeren Drittel durch **Konvektion**, vergleichbar den Luftströmungen, die sich an einem warmen Heizkörper entwickeln.

Nach der Sternstrukturtheorie hängt die Dicke der Konvektionszone von der Masse des Sterns ab. In Zwergsternen mit etwas weniger als der Hälfte der Sonnenmasse reicht die Konvektionszone bis in den Kern – man nennt solche Sterne deshalb »vollkonvektiv«. In massereicheren Sternen werden die Konvektionszonen immer dünner und bei Riesensternen verschwinden sie schließlich völlig.

DON DAVIS / AH



Der Dynamomechanismus in Sternen beginnt mit einem Dipol-Magnetfeld wie dem eines Stabmagneten (a). Durch die schnellere Rotation am Äquator werden die Feldlinien immer mehr aufgewickelt (b, c), bis die ersten aus der Oberfläche herausplatzen, dort Sonnenflecken hervorrufen (d) und schließlich der Verlauf des Magnetfelds komplett umgepolt ist (e).

> Sonne vergleichbar ist oder sie sogar übertrifft. Das Chandra-Röntgenteleskop hat sogar einen Braunen Zwerg entdeckt, also einen Stern, in dessen Innern die Temperatur nicht hoch genug ist, um Kernreaktionen wie in der Sonne zu zünden (siehe das Glossar auf S. 26). Bei späten Sternen werden auch immense Strahlungsausbrüche beobachtet, die viel energiereicher sind als die größten jemals auf der Sonne beobachteten Eruptionen.

Auch die Entwicklungsphase, in der sich ein Stern befindet, beeinflusst seine Röntgenleuchtkraft und Aktivität. Ganz überraschend spürte das deutsche Satellitenteleskop Rosat Sterne in ihrem allerfrühesten Lebensstadium auf. Solche Protosterne sind in der Regel noch in die Staub- und Gaswolken eingehüllt, aus denen sie sich bilden. Diese Wolken schlucken aber das meiste niederenergetische Röntgenlicht. Chandra und XMM-Newton beobachten bei höheren Energien und haben deshalb mehr Durchblick. Sie sehen deshalb junge Sterne vom Typ »T-Tauri«, die oft noch von einer Gas- und Staubscheibe umgeben sind.

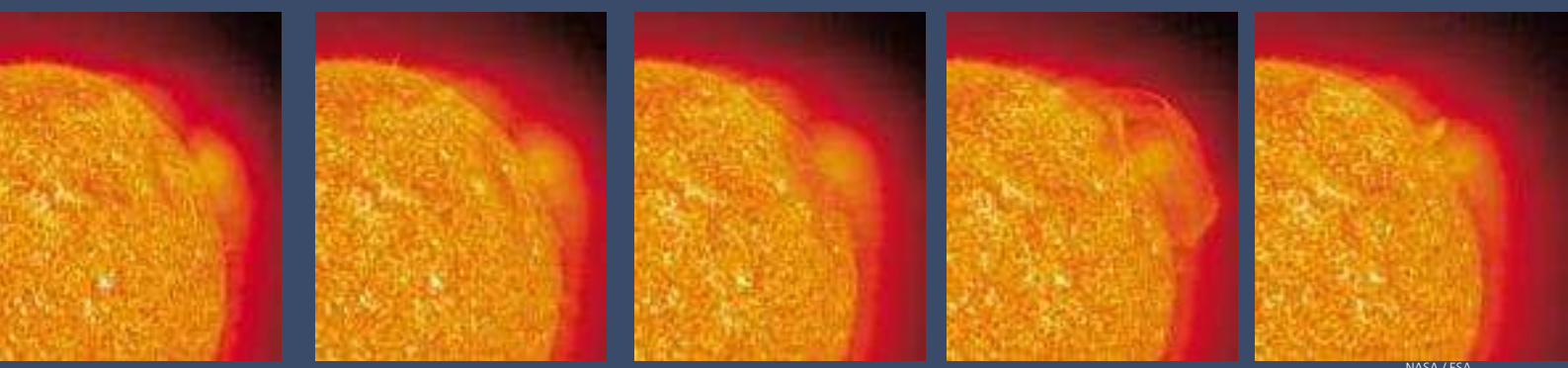
Durch die vielen Beobachtungen von Rosat lassen sich die Röntgenleuchtkräfte und Aktivitäten der Sterne über ihren gesamten Lebensweg bestimmen. Generell leuchten junge Sterne sehr viel heller im Röntgenbereich als ältere Sterne wie unsere Sonne. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist dieser Effekt auf die abnehmende Rotation im Alter zurückzuführen. Daraus lässt sich folgern, dass die Sonne in ihrer Jugend um ein Vielfaches aktiver war, als wir sie heute kennen. Die Bedingungen, die während der Bildung unseres Planetensystems herrschten, waren also ganz andere als heutzutage.

Des magnetischen Pudels Kern

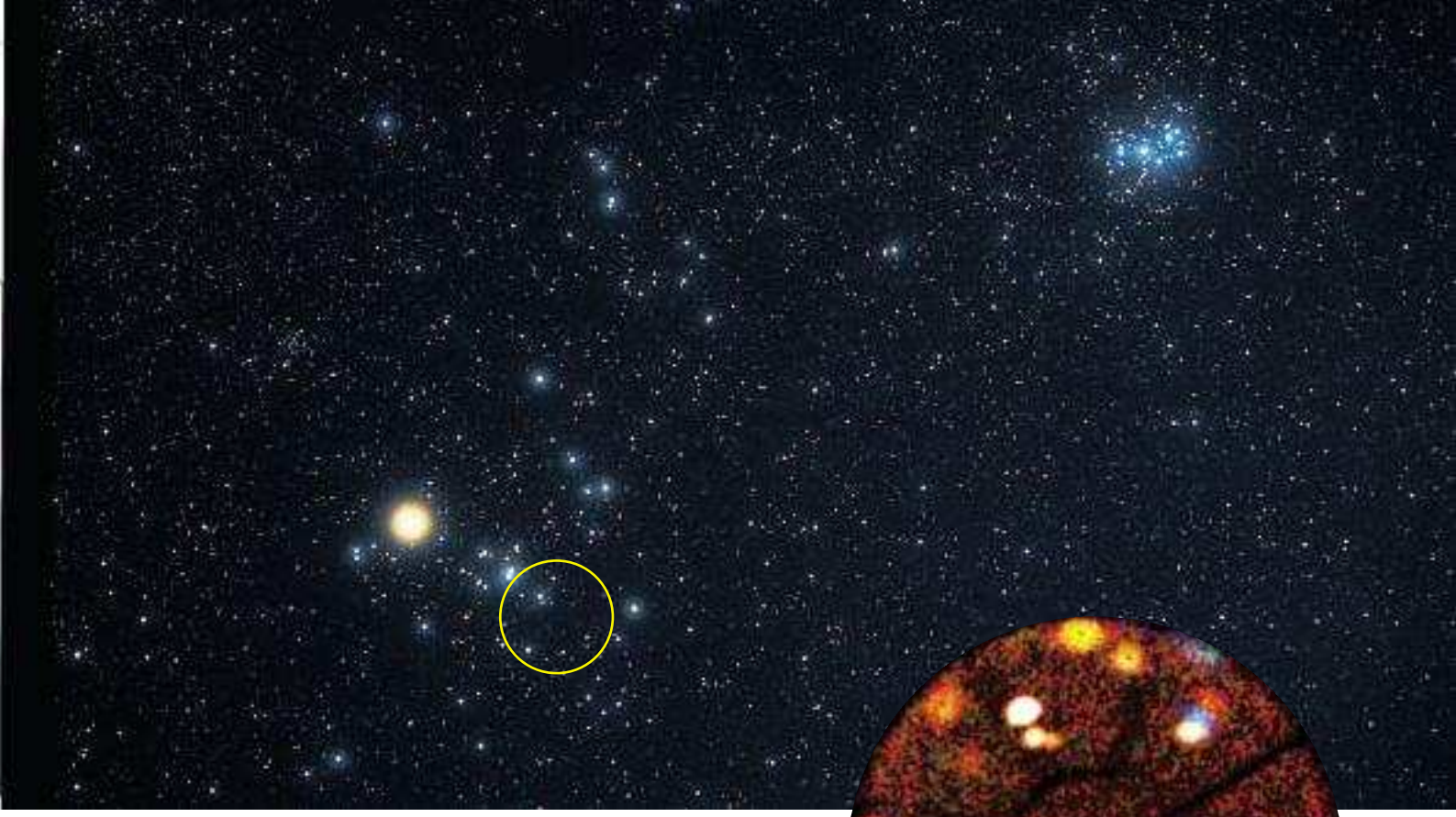
Welcher Prozess ist aber für die Erzeugung von Magnetfeldern in der Sonne und für deren ständige Veränderungen verantwortlich? Die Mehrheit der Astrophysiker denkt dabei an Dynamoprozesse (siehe Abbildung oben): Da das Gas im Innern der Sterne ionisiert ist, dort also in Form eines Plasmas aus elektrisch negativ geladenen Elektronen und positiv geladenen Atomkernen vorliegt, kann sich das Magnetfeld nicht beliebig ausbreiten, sondern ist in dem Plasma »eingefroren«. Das Plasma rotiert in verschiedenen Regionen des Sterns aber unterschiedlich schnell oder »differenziell« (siehe auch Glossar auf S. 20). Dadurch wird das eingefrorene Magnetfeld mehr und mehr entlang der Rotationsrichtung »aufgezogen«, wie eine Feder beim Hochziehen eines Rolladens gespannt wird. Dieser Mechanismus heißt in der Fachsprache Omega-Effekt.

Die unterschiedlich schnelle Rotation im Sterninnern beeinflusst aber auch die Konvektion, also die Strömung von nach außen aufsteigenden heißen Plasmablasen und nach innen sinkenden kühleren Blasen: Die Coriolis-Kraft, die in der Erdatmosphäre für die spiralförmigen Windströmungen auf Tiefdruckgebiete zu oder von Hochdruckgebieten weg veranwortlich ist, tritt auch im Sterninnern zu Tage. Sie verwirbelt die Plasmablasen, die wiederum die Magnetfeldlinien mitreißen. Letztlich wird das Magnetfeld dadurch vollständig umgepolt, man bezeichnet dies als alpha-Effekt. Kommen beide Mechanismen gleichzeitig vor, ergibt sich ein so genannter alpha-Omega- oder kurz: α-Ω-Dynamo. Eine genaue mathematisch-physikalische Berechnung des solaren Dynamos ist bis heute noch nicht gelungen. Es gibt

Diese Protuberanz vom 26. August 1997 wurde von Soho im Ultraviolettlicht des einfach ionisierten Heliums aufgenommen. Innerhalb eines Tages dehnte sie sich über ein Gebiet aus, in dem die Erde 30-mal Platz hätte.



NASA / ESA



50- bis 100fach stärker als unsere Sonne strahlt jeder der 500 Millionen Jahre jungen Sterne in diesem Falschfarben-Röntgenbild von Rosat (rechts). Die Aufnahme zeigt das markierte 2°-Feld des Hyaden-Sternhaufens im Stier (Foto oben). Der helle gelbe Stern ist Aldebaran (»α Tau«), rechts oben die Plejaden.

FOTO: AKIRA FUJII; ROSAT-BILD: ROBERT STERN (LOCKHEED MARTIN UND THOMAS PREIBISCH (ASTRONOMISCHES INSTITUT, UNIVERSITÄT WÜRZBURG)

aber einige experimentelle Erfolge, solche Effekte im Labor herbeizuführen, darunter auch am Forschungszentrum Karlsruhe. Dies gibt Anlass zur Hoffnung, dass der solare wie auch die stellaren Dynamos bald auf einer soliden experimentellen Grundlage stehen.

Astronomen müssen meist von einem oder wenigen untersuchten Fällen zu allgemein gültigen Aussagen gelangen. Hier stellt sich die Frage: Sind Zyklen von 11, oder genauer: 22 Jahren, wie wir sie bei der Sonne beobachten, für Sterne typisch? Diese einfache Fragestellung ist durch Beobachtungen nur schwer zu beantworten. Im Fall der Sonne genügt es, die Sonnenflecken zu zählen. Dies erfordert ein kleines Teleskop, geeignete Filter oder einen Projektionsschirm und Geduld. Im Fall von Sternen sind Flecken, wie wir sie von der Sonne kennen, überhaupt nicht nachweisbar. Man muss daher zu anderen Methoden greifen, um magnetische Zyklen auf fremden Sternen aufzuspüren und studieren zu können. Grundsätzlich ist ein solcher Nachweis durch das Studium der zeitveränderlichen Röntgenleuchtkraft von Sternen zwar theoretisch möglich, allerdings existiert für Sterne derzeit keine ausreichende Datenbasis. Die bislang erfolgreichste Methode, Stellarzyklen zu studieren, besteht im Studium der Kalziumlinien von sonnenähnlichen Sternen. Etwas mehr als hundert Sterne werden seit über zwanzig Jahren daraufhin untersucht. Zyklen wie bei der Sonne werden aber erstaunlicherweise nur in einer kleinen Gruppe der untersuchten Sterne gefunden. Das heißt mit anderen Worten: Das Verhalten unserer Sonne im stellaren Kontext stellt sich auch hier als untypisch heraus.

Das Forschungsgebiet der Solar-Stellar-Connection befindet sich noch am Anfang. Mit Hilfe der neuen Generation von Röntgensatelliten, dem Chandra-Observatorium der Nasa und dem XMM-Newton-Satelliten der Esa, können die Häufigkeiten chemischer Elemente in Koronen anderer Sterne sowie deren zeitliche Veränderungen untersucht werden. Ein weiterer Ansatzpunkt der Forschung ergibt sich aus dem Studium exosolarer Planeten, also Himmelskörpern in anderen Sternsystemen – lesen Sie hierzu mehr in Peter Ulmschneiders »Favorit am Himmel« auf S. 58 sowie in den Astro-News auf S. 12 in diesem Heft und über »Epsilon Eridani« in der nächsten Ausgabe von ASTRONOMIE HEUTE. Die Heimatsterne dieser Planeten sind in ihrer überwältigenden Mehrheit unserer Sonne ähnlich. Es ist nur schwer vorstellbar, die Bildung von Exoplaneten zu verstehen, ohne gleichzeitig die Evolution der Sonnen dieser Planeten zu kennen. <<

Jürgen H. M. M. Schmitt ist Professor für Astronomie an der Universität Hamburg und spezialisiert auf Röntgenastronomie, kosmische Magnetfelder, Sternaktivität und die Solar-Stellar-Connection.

Links:

http://sci.esa.int/home/xmm-newton
http://chandra.nasa.gov
http://sohowww.estec.esa.nl/whatsnew/screensaver.html

Krone aus Edelsteinen

>> David Malin

Die Krone des Südens (»Corona Australis«, CrA) regiert den nächtlichen Sternhimmel unterhalb des Schützen (»Sagittarius«). Sie ist ein kleines Sternbild mit nur wenigen hellen Objekten, doch ihre Schönheit liegt im Detail. Eines ihrer Kronjuwelen ist der Kugelsternhaufen NGC 6723 (8,6te Größe), der sich im Nordwesten knapp jenseits der Sternbildgrenze befindet. Ein atemberaubender Staubnebel erregt unsere Aufmerksamkeit: Er umrahmt zwei der hellsten Sterne der Krone, Alpha (α) und Gamma (γ) Coronae Australis, und erstreckt sich in westöstlicher Richtung über einen 4,5 Grad weiten Himmelsausschnitt.

Die diffuse Helligkeit des Nebels stammt von Sternlicht, das an winzigen Staubkörnchen reflektiert wird. Teilweise sammeln sich diese zu dichten, lichtundurchlässigen Kondensaten und verdecken so die Sterne im Hintergrund. Die Temperaturen der inneren Bereiche der Staubwolken liegen knapp über dem absoluten Nullpunkt, da der Staub durch die Aussendung von Infrarotstrahlung abkühlt.

Unter solchen Bedingungen können flüchtige Komponenten wie Wasser, Kohlendioxid, Ammoniak und Methan kondensieren und Molekülwolken bilden. Der Staub schützt die schwachen chemischen Molekülbindungen vor der zerstörerischen Ultraviolettstrahlung der Sterne.

Die bei weitem größte und dichteste Molekülwolke befindet sich links unterhalb von NGC 6723. Sie erscheint uns mit einer Breite von ungefähr einem Grad, was in einer Entfernung von 500 Lichtjahren etwa acht Lichtjahren Ausdehnung entspricht. Die Wolke ist so dicht, dass sie nur ein Hundertbillionstel des Hintergrundlichts durchlässt, das sind 35 Größenklassen (oder rund ein Faktor 10^{-14}). Doch zwei helle Objekte an ihrem nordwestlichen Rand sorgen dafür, dass in dieser Gegend nicht überall Dunkelheit herrscht.

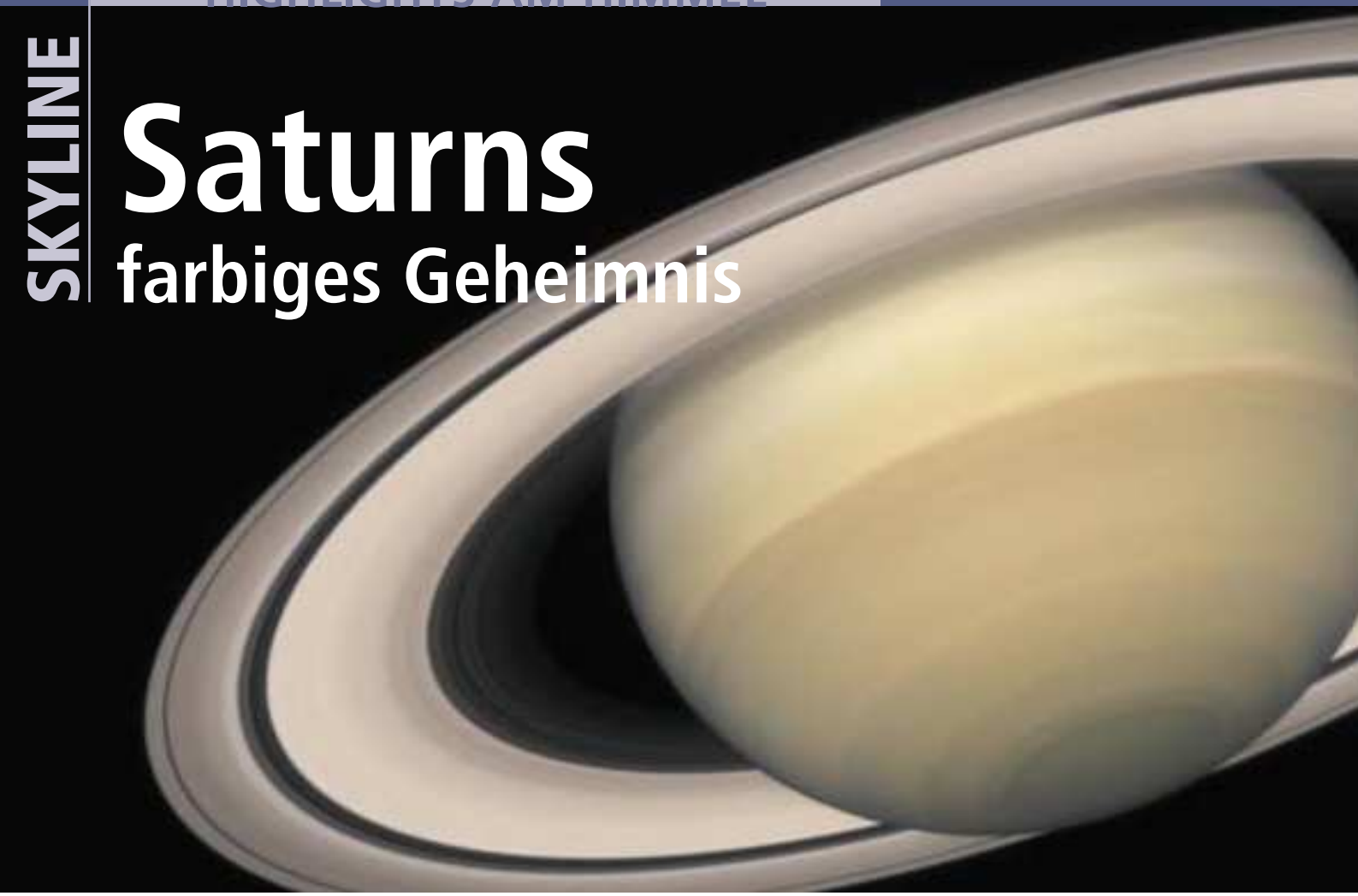
Weniger prominent, aber umso interessanter ist NGC 6729, ein von diffusem blauem Licht umgebener Nebel am Nordwestrand der Wolke. Hinter ihm liegt der von Staub fast vollständig umhüllte Stern R Coronae Australis. Dessen ausgeworfene Materie strahlt von hinten durch die Wolke und hinterlässt den Eindruck eines winzigen, gespiegelten Kommas.

Das Bild setzt sich aus drei separaten Belichtungen auf gashypersensibilisiertem Kodak-Technical-Pan-Film zusammen. Es entstand am United-Kingdom-Schmidt-Teleskop im australischen Siding Spring. Die einzelnen roten, grünen und gelben Aufnahmen wurden fotografisch nachbearbeitet, um auch schwache Details sichtbar zu machen. Anschließend wurden sie am Computer zu einem einzigen Farbbild kombiniert. <<

Der Astronom **David Malin** arbeitet zwar nicht mehr am Anglo-Australian Observatory, verwaltet aber weiterhin das von ihm dort aufgebaute Bildarchiv.
www.davidmalin.com/
www.aao.gov.au/

SKYLINE

Saturns farbiges Geheimnis



Auch nach den Vorbeiflügen der Pioneer- und Voyagersonden gibt der Ringplanet den Forschern noch Rätsel auf.

>> Thomas A. Dobbins, Alan Heath und Valeri Dikarev

Mehr als zwanzig Jahre sind vergangen, seit die Voyager-Raumsonden die ersten Nahaufnahmen der Saturnringe zur Erde schickten. Damals dachten viele, dass Amateurastronomen keine wissenschaftlichen Beiträge zur Erkundung des Sonnensystems mehr leisten könnten und ihnen nur noch das bloße Betrachten der Planeten im Fernrohr bliebe. Dass gerade Saturn noch Rätsel aufgibt, die auch von Amateuren gelöst werden können, beweist der A-Ring, der äußere der beiden schon in einem kleinen Teleskop sichtbaren hellen Hauptringe des Gasplaneten. Seit über einem halben Jahrhundert zeigt sich in diesem ein bislang unerklärliches Phänomen.

Bereits 1945 erschien in der Aprilausgabe von Sky & Telescope ein Artikel mit dem Titel »A Strange Saturnian Illusion« (»Eine seltsame Erscheinung auf Saturn«). Darin berichtet James C. Bartlett Jr., ein Amateurastronom aus Baltimore, wie er am 9. Oktober 1942 an den beiden gegenüberliegenden Seiten des A-Rings unterschiedliche Farben beobachtete: »Auf der in Bewegungsrichtung vorauseilenden Seite erschien der Ring rötlich, auf der nachfolgenden Seite dagegen eindeutig blau.«

Am 20. Oktober des gleichen Jahres trat diese Farbverschiebung erneut auf, diesmal jedoch mit vertauschten Seiten: »Der Ring schien auf der vorauslaufenden Seite blau, auf der nachfolgenden Seite blassorange zu sein«, schrieb Bartlett. Er bezeichnete dieses Phänomen damals als »den zweifarbigen Aspekt des A-Rings«. Da er keine Korrelation zwischen dem beobachteten Wechsel der Farbtöne und der Rotationsperiode der Saturnringe fand, tat er das Ganze jedoch als optische Täuschung ab.

Bartletts Entdeckung wäre wahrscheinlich schnell wieder in Vergessenheit geraten, hätte es nicht eine Bestäti-

GLOSSAR

Differenzielle Refraktion: Da der Brechungsindex der Luft bei kürzeren Wellenlängen höher ist, werden blaue Lichtstrahlen stärker gebrochen als rote. Das Licht von Sternen in geringer Höhe über dem Horizont wird dadurch in ein winziges vertikales Spektrum aufgespalten. Der obere und der untere Rand eines Planetenscheibchens erscheinen im Teleskop von einem blauen und einem roten Farbsaum umgeben.

Dichtewellen: Unter diesem Begriff versteht man Wellen, die eine Serie von Verdichtungen oder Verdünnungen in dem Medium hervorrufen, durch das sie laufen.

BEIDE FOTOS: MAURIZIO DI SCIULLO

NASA / HUBBLE HERITAGE TEAM (STSCI UND THE ASSOCIATION OF UNIVERSITIES FOR RESEARCH IN ASTRONOMY)

Atemberaubende Schönheit: **Auch Amateurbeobachter können helfen, ein altes Rätsel der Saturnringe zu lösen.**

gung von glaubwürdiger Stelle gegeben. Am 1. November 1949 beobachtete Walter Haas, der Gründer der »Association of Lunar and Planetary Observers«, den Saturn mit einem Sechs-Zoll-Newton-Reflektor (15 Zentimeter) bei 188facher Vergrößerung. Im Gegensatz zu Bartlett benutzte Haas jedoch einen Wratten-47-Blaufilter. Hierdurch erschien ihm der westliche Teil des Rings deutlich heller als der östliche. Dieser unerwartete Anblick machte auf ihn einen so nachhaltigen Eindruck, dass er seitdem die Zweifarbigkeit des Saturnrings als einsamer Fürsprecher verteidigte.

Im Laufe der Jahre kamen allerdings nur wenige Farbfilterbeobachtungen des Saturnrings zustande. Die Ergebnisse der letzten fünf Jahrzehnte fasst Haas wie folgt zusammen: »Meistens erschienen beide Henkel gleich hell«, gemeint sind der westliche und der östliche Ausläufer des Rings. »Die Helligkeitsdifferenzen traten hauptsächlich beim Einsatz von Blaufiltern auf. Mit Rot- oder Grünfiltern beziehungsweise ganz ohne Filter war dieser Effekt meist nicht zu sehen. Gelegentlich veränderte sich das Erscheinungsbild des Phänomens aber auch innerhalb von nur ein oder zwei Stunden.« Viele Skeptiker führten die unterschiedlichen Farben der Saturnringe, ähnlich wie beim Sonnenprisma, auf die Farbaufspaltung in der Erdatmosphäre, die differenzielle Refraktion (siehe Glossar), zurück. Die Farbabfolge im Spektrum der differenziellen Refraktion verläuft aber senkrecht zum Horizont, was mit der Ost-West-Ausrichtung der Farbunterschiede im A-Ring nicht übereinstimmt. Außerdem treten diese Farbunterschiede beim helleren B-Ring oder beim Planeten selbst nicht auf.

Zu guter Letzt doch noch der Beweis?

In der seit Jahrzehnten schwelenden Debatte hatten die Fürsprecher der Zweifarbigkeit des A-Rings stets einen schweren Stand, da überzeugendes Bildmaterial fehlte und sie sich lediglich auf die Berichte von Beobachtern stützen konnten. Nie zuvor war das alte Sprichwort passender, dass ein Bild mehr sagt als tausend Worte!

Dreifarben-Komposit-Fotos

zeigen die Zweifarbigkeit des Saturnrings am besten. Im oberen Bild wurde die Farbsättigung übersteuert, um das Phänomen des A-Rings deutlich hervorzuheben. Im Bild darunter ist die Farbanomalie zwar auch vorhanden, sie ist aber so fein, dass sie einem Beobachter ohne Farbfilter wohl entgehen würde.

Während der Saturnopposition in den Jahren 2001 und 2002 lieferte Maurizio Di Sciullo, der für seine ausgezeichneten Aufnahmen des Mondes und der Planeten bekannt ist, dann den definitiven Beweis für die Zweifarbigkeit der Saturnringe: Als er die Farbsättigung einer CCD-Aufnahme vom 20. Januar 2002 einstellen wollte, fiel ihm eine Rotblau-Asymmetrie im A-Ring auf. Zu diesem Zeitpunkt stand Saturn an seinem Beobachtungsort aber so hoch über dem Horizont, dass die spektrale Zerlegung des Lichts durch die Atmosphäre vernachlässigbar war. Auch hier be- >

DONALD C. PARKER

Die Helligkeitsasymmetrie des A-Rings ist auf dieser Aufnahme von Donald C. Parker vom 12. Oktober 2002 deutlich zu erkennen.

> schränkte sich die Farbanomalie auf den A-Ring und zeigte sich lediglich in zwei Aufnahmen.

Anomalien im Ring

Während des gesamten zwanzigsten Jahrhunderts haben auch Berufsastronomen eine langlebige Helligkeitsasymmetrie des A-Rings festgestellt. All diese Arbeiten hätten den Berichten von Amateurastronomen über die Zweifarbigkeit des Saturnrings größere Glaubwürdigkeit verleihen können. Doch nur wenige Amateure lesen die Veröffentlichungen der professionellen Astronomen, und die meisten Profi-Astronomen wissen nichts von den Beobachtungen der Amateure.

Bereits im Jahr 1921 berichtete der deutsche Astrophysiker E. M. Schönberg von fotometrischen Messungen, die eine systematische Helligkeitsdifferenz zwischen der östlichen und westlichen Seite der Saturnringe ergaben. 1958 beschrieb der französische Astronom Henri Camichel eine seltsame Helligkeitsverteilung im A-Ring, wie sie im Bild oben links zu sehen ist. Auf dem Foto von Donald C. Parker sind je zwei Helligkeitsminima und -maxima zu erkennen. In den 1970er Jahren konnten Astronomen deren Existenz anhand vieler fotografischer Aufnahmen bestätigen. Von nun an wurde dieses Phänomen unter Fachleuten als »quadrupole azimutale Helligkeitsasymmetrie« bekannt. Sie ist auch auf Aufnahmen der Voyager-Raumsonden und des Hubble-Weltraumteleskops sichtbar. Abhängig von der Stärke der Beleuchtung und vom Beobachtungswinkel zeigt der A-Ring Helligkeitsschwankungen zwischen zehn und dreißig Prozent. Man kann sie schon mit einem Sechs-Zoll-Teleskop sehen und findet sie auch auf CCD-Aufnahmen vieler Amateure wieder, wenn man deren Kontrast nur ausreichend genug verstärkt. Im B-Ring wurden dagegen bisher keine vergleichbaren Helligkeitsveränderungen entdeckt.

Aus den Daten der Voyager-Sonden weiß man, dass der A-Ring eine geringere Teilchendichte besitzt und die Partikel dort auch größer sind als im B-Ring. Staubteilchen mit einem Durchmesser von weniger als einem Mikrometer fehlen hier völlig. Die Forscher vermuten daher, dass die quadrupole azimutale Helligkeitsasymmetrie durch Dichtewellen (siehe Glossar Seite 42) entsteht, die von kleinen Monden innerhalb des A-Rings ausgelöst werden. Bewegen sich große Teilchen – wie beispielsweise diese Monde – durch den Ring, stört deren Gravitation die Bahnen der kleineren Teilchen in der Nachbarschaft und es entstehen so genannte Dichtewellen. Wie Soldaten bei einer Parade erscheinen diese Ketten von Teilchen als zusammenhängendes, ausgedehntes Objekt. Die Teilchen, die näher am Saturn sind, umkreisen ihn etwas schneller, während die äußeren zurückbleiben. Die unterschiedliche Rotation verschiebt die Dichtewelle um etwa 20 bis 25 Grad in Bewegungsrichtung, ähnlich wie dies auch in den Spiralarmen einer Galaxie passiert (siehe »Das Rätsel der kosmischen Drehscheiben«, S. 18).

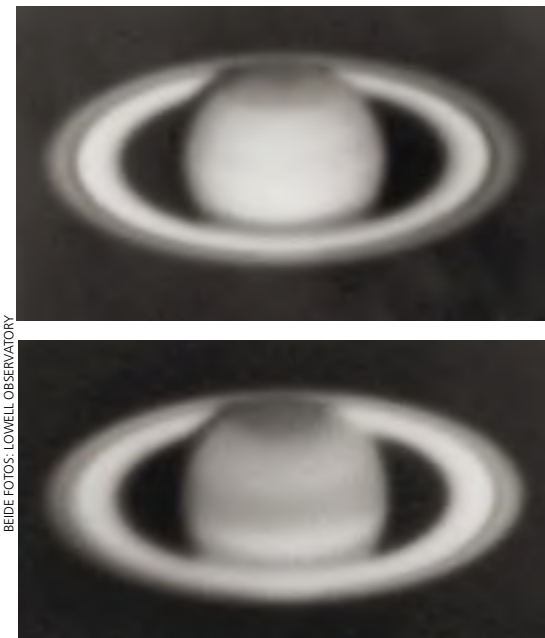
Die Dichtewellen in den Ringen des Saturns erscheinen von oben her gesehen etwas heller als von der Seite. Daher ist die Helligkeit des A-Rings dort größer, wo unsere Beobachtungslinie senkrecht auf diese Wellen trifft. Das Dichtewellenmodell kann die beobachteten Eigenschaften der Saturnringe sehr gut erklären, merkwürdigerweise aber nicht die Spiralstruktur von Galaxien, für die es eigentlich entwickelt wurde.

S&T / CHARLES A. FEDERER JR.

Walter Haas, der Held in der Geschichte der Zweifarbigkeit der Saturnringe (hier in einer Aufnahme aus dem Jahre 1949). Mit großer Hartnäckigkeit hat er das Phänomen über mehr als fünf Jahrzehnte dokumentiert, obwohl ihm viel Skepsis entgegenschlug.

Das Puzzle fügt sich

Besteht also zwischen der von Berufsastronomen nachgewiesenen Helligkeitsasymmetrie und der von Amateuren beobachteten Zweifarbigkeit des A-Rings ein Zusammenhang? Als die von Camichel beobachteten Helligkeitsschwankungen vor einen Vierteljahrhundert durch die Untersuchung von Fotoplatten bestätigt wurden, enthielten nur wenige der im blauen Licht gewonnenen Aufnahmen Abbildungen ausreichend hoher Qualität. Also griff man auf die



BEIDE FOTOS: LOWELL OBSERVATORY

Auffällige Unterschiede in der Helligkeit zeigen diese zwei Fotos von Saturn. Das obere wurde durch einen Rotfilter aufgenommen und ist auf der linken Ringseite heller. Das untere entstand mit einem Blaufilter und zeigt auf der rechten Seite eine größere Helligkeit. Beide Bilder wurden am 12. November 1942 mit dem 24-Zoll-Clark-Refraktor des Lowell Observatory gemacht.

LUDEK PESEK / BEATRICE PESEK

Obwohl alle Ringteilchen mit einer Geschwindigkeit von mehr als 10 km/s um Saturn kreisen, haben benachbarte Partikel im A-Ring nur eine geringe Relativgeschwindigkeit von 10 cm/s zueinander. Antoine de Saint-Exupéry hätte seinen kleinen Prinzen nicht auf einen Asteroiden, sondern auf einen der größeren Brocken im A-Ring setzen sollen, wo langsam vorüberziehende Brocken es ihm erlaubt hätten, von einem zum andern zu springen.

schärferen Abbildungen jener Platten zurück, die mit Gelb-, Rotfiltern oder einfach im gesamten Spektrum aufgenommen worden waren. Deshalb entgingen den Wissenschaftlern zunächst auch die Farbdifferenzen zwischen Rot und Blau. Nach Richard French vom Wellesley College variiert die quadrupole Helligkeitsasymmetrie, wie sie die Bilder des Hubble-Weltraumteleskops zeigen, nur wenig mit der Wellenlänge. Die Zweifarbigkeit der Ringe scheint also ein davon unabhängiges Phänomen zu sein.

Forscher der Universität von Oulu in Finnland schlugen eine Erklärung vor, bei der die Kollisionen von Meteoriten mit Ringteilchen sporadische Helligkeitsasymmetrien hervorrufen sollten. Ein Einschlag mit hoher Geschwindigkeit erzeugt eine Wolke von Bruchstücken mit einer ganz bestimmten Größenverteilung: Auf jedes zwei Zentimeter große Teilchen kommen zehn Partikel mit nur einem Zentimeter Ausdehnung, auf jedes ein Zentimeter große Teilchen dann wiederum zehn mit einem halben Zentimeter Ausdehnung und so weiter. Diese Verteilung setzt sich auch im Mikro- und Submikrometer-Bereich fort. Die Übermacht der kleinen Teilchen erzeugt dabei eine charakteristische Spektralverteilung. Da jedes von ihnen aber nur Wellenlängen der eigenen Größe oder kleiner reflektieren kann, müsste die Wolke bei kürzeren Wellenlängen heller erscheinen und einen ausgeprägten Blauton besitzen.

Doch warum tritt diese Verfärbung nur im A- und nicht im B-Ring auf? Seit über einem Jahrhundert weiß man anhand von Bedeckungen von Monden und weit entfernten Sternen durch den Saturnring, dass der A-Ring durchsichtig, der B-Ring dagegen für Licht fast undurchdringlich ist. Die »optische Tiefe« des A-Rings lässt Wolken aus Trümmerteilchen sichtbar werden, die man im B-Ring nicht sieht. So wie ein Tropfen blauer Tinte, der in einem Glas Rotwein kaum auffällt, in einem Glas Weißwein aber deutlich sichtbar ist.

Suchen Sie mit!

Die gute Sichtbarkeit des Ringplaneten bietet Amateurbeobachtern in mittleren nördlichen Breiten in den kommenden Jahren die Gelegenheit, selbst nach Anomalien im A-Ring Ausschau zu halten. Eine Menge Fragen warten auf eine Antwort: Wie oft tritt die beschriebene Zweifarbigkeit auf? Oder wie lange dauert sie an? Gibt es einen Zusammenhang zwischen ihrem Auftreten und der geometrischen Stellung von Erde, Saturn und Sonne? Rotieren die Verfärbungen zusammen mit den Ringen oder sind sie ortsfest?

Obwohl Beobachtungen jederzeit willkommen sind, hoffen wir, Leser auch dazu bewegen zu können, hochempfindliche Schwarz-Weiß-Videokameras als Fotometer einzusetzen. Ihre große Lichtempfindlichkeit ermöglicht auch bei der Verwendung dichter Farbfilter bereits in einem Teleskop mit zwanzig Zentimeter Öffnung eine gute Bildauflösung.

Nehmen Sie Saturn zuerst im Weißlicht, dann durch einen Blau- und schließlich durch einen Rotfilter auf. Drehen Sie den Helligkeitsregler des Videomonitors so lange, bis der Planet langsam verschwindet. Wenn ein Teil des A-Rings in einem Bereich des Spektrums heller sein sollte, wird er dort selbst dann noch sichtbar sein, wenn der Rest bereits verschwunden ist. Dieser simple und elegante Test ist nicht nur empfindlich und zuverlässig, sondern gestattet auch die objektive Aufzeichnung des Phänomens.

Für optische Beobachtungen existiert eine ähnliche Methode: Verdreht man zwei Polarisationsfilter gegeneinander, kann man die Bildhelligkeit wie bei einem Dimmer einstellen. Solche Polfilter sind auch mit Gewinde erhältlich, sodass man sie gemeinsam mit Farbfiltern ins Okular schrauben kann.

Ihre Beobachtungen schicken Sie bitte an die British Astronomical Association (www.britastro.org/observe.html) oder die Association of Lunar and Planetary Observers (www.lpl.arizona.edu/~rhill/alpo/sat.html). Seien Sie jedoch nicht enttäuscht, wenn Sie das Phänomen nicht sehen. Alle Beobachtungen, die Sie machen, sind willkommen. <<

Thomas A. Dobbins ist ein erfahrener Planetenbeobachter und Redakteur von Sky & Telescope. **Alan Heath** war Lehrer und leitete von 1963 bis 1994 die Saturn-Abteilung der British Astronomical Association. **Valeri Dikarev** arbeitet am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg. Dort beschäftigt er sich mit der Statistik und Dynamik von interplanetarem Staub und dünnen Ringen.

ROLAND BRODBECK

Die Sonne geht als Sichel auf

Am Morgen des 31. Mai 2003 findet über Deutschland wieder eine Sonnenfinsternis statt. **>> Roland Brodbeck**

Zum ersten Mal seit der »Jahrhundertfinsternis von 1999« wird in Deutschland wieder eine Sonnenfinsternis zu sehen sein – wenn auch keine totale. Sonne und Mond gehen am letzten Morgen im Mai so im Einklang miteinander auf, dass nur eine schmale Sichel der Sonne hinter dem Mond hervorschaut. Im Nordosten Deutschlands ist der Bedeckungsgrad der Sonne durch den Mond sogar höher als am 11. August 1999. An der Grenze zu Dänemark wird an diesem Tag mit knapp neunzig Prozent der größte von Deutschland aus beobachtbare Bedeckungsgrad erreicht.

Das Maximum der partiellen Phase wird für alle Orte im deutschen Sprachraum bei Sonnenaufgang oder kurz danach erreicht, das heißt um zirka halb sechs morgens. Frühaufsteher haben also gute Karten. Die teilverfinsterte Sonne steht zu diesem Zeitpunkt noch sehr tief über dem Nordosthorizont.

Eine freie Sicht in diese Himmelsrichtung ist deshalb unbedingt notwendig. Beachtet man diesen Hinweis, können reizvolle und ungewöhnliche Sonnenaufgangsfotos gelingen. Nach dem Maximum dauert es noch etwa eine Stunde, bis der Mond die Sonne wieder ganz frei gibt. Gegen halb sieben ist das Himmelsschauspiel dann bereits vorüber.

Der Mond durchläuft nur drei Tage vor der Finsternis den erdfernsten Punkt (Apogäum) seiner Bahn. Die Neumondscheibe ist daher am 31. Mai knapp zwei Bogenminuten (das entspricht sieben Prozent) kleiner als die Sonnenscheibe und deckt diese, im Gegensatz zu einer totalen Sonnenfinsternis, nicht komplett ab. Selbst an Orten zentraler Bedeckung wie beispielsweise im Norden Schottlands, auf Island und in Teilen Grönlands bleibt ein ringförmiger Teil der Sonne um den dunklen Schatten des Mondes herum sichtbar. Man spricht von einer ringförmigen (annularen) Sonnenfinsternis.

ROLAND BRODBECK

Das Maximum **der Sonnenbedeckung in Prozent des scheinbaren Sonnendurchmessers. Südwestlich der rot punktierten Linie erreicht die Verfinsterung ihren Höhepunkt vor Sonnenaufgang.**

Die partielle Phase dieser Finsternis ist von ganz Europa – mit Ausnahme der Iberischen Halbinsel und Südwestfrankreich –, von Nordasien und Nordkanada aus sichtbar. Aber Achtung: Trotz ihrer horizontnahen Stellung darf die Sonne wie bei jeder Finsternis nur mit zur Sonnenbeobachtung zugelassenen Finsternisbrillen betrachtet werden. Ferngläser und Fernrohre müssen für die sichere Sonnenbeobachtung mit speziellen Filtern ausgerüstet sein. Ohne solche Vorsichtsmaßnahmen riskieren Sie bleibende Augenschäden oder gar eine dauerhafte Erblindung!

Tipp: Mit dem Finsternisrechner von CalSky können Sie sich die Daten der Finsternis für Ihren Standort berechnen lassen: www.calsky.com/cs.cgi/Sun/6/1 <<

Verlauf der Sonnenfinsternis für verschiedene Städte

	Sonnenaufgang	maximale Bedeckung	Ende
Berlin	4.52	5.28	6.27
Bern	5.41	5.41	6.20
Dresden	4.58	5.26	6.25
München	5.20	5.23	6.20
Frankfurt	5.23	5.28	6.25
Düsseldorf	5.25	5.30	6.28
Wien	5.00	5.20	6.19

Für alle Orte in Deutschland, Österreich und der Schweiz geht die Sonne bereits teilweise verfinstert auf. Alle Zeiten in MESZ.

Himmlische Paradestücke zur Frühlingsmitte

Mond- und Sonnenfinsternis sowie ein Merkurtransit sind die Höhepunkte des himmlischen Kalenders im Mai. Auch der Juni hat mit einer Vielzahl planetarischer Nebel, Galaxien und Kugelsternhaufen einiges zu bieten. **>> Fred Schaaf**

Warme Frühlingsabende sind ein ausgezeichneter Zeitpunkt, um nach Arktur, Spika und dem Sternbild des Raben (»Corvus«) Ausschau zu halten. Arktur, im Bärenhüter (»Bootes«) ist zurzeit der hellste Stern am Abendhimmel – suchen Sie ihn hoch im Südsüdwesten! Ihn und Spika zu finden ist denkbar einfach, wenn man sich am Großen Wagen orientiert. Dieser ist fast über Ihrem Kopf, wenn Sie nach Westen schauen und dann den Blick steil nach oben richten. Verlängern Sie die Krümmung der Deichsel um eine Wagenlänge weiter, dann landen Sie bei Arktur. Wenn Sie der gedachten Linie noch weiter folgen, finden Sie Spika in der Jungfrau (»Virgo«). Spika ist weniger hell, aber noch immer der auffallendste Stern der Umgebung. Noch weiter, knapp über dem Horizont, hockt der segelförmige Rabe.

In einer dunklen, mondlosen Nacht kann man im Haar der Berenike (»Coma Berenices«, Com) die Bekanntschaft mit dem größten Sternhaufen des Himmels machen – dem »Coma Cluster« Melotte 111, westlich von Arktur (siehe Abbildung unten links). Ein Feldstecher ist ideal, um den Sternhaufen trotz der städtischen Luft- und Lichtverschmutzung zu erforschen. Halten Sie dabei auch nach den Kugelsternhaufen NGC 5053 und M 53 Ausschau, beide rund ein Grad östlich und nordöstlich von α Com.

Um die Mitglieder des Virgo-Galaxienhaufens zu entdecken, brauchen Sie dagegen mindestens ein Vier- oder Sechs-Zoll-Teleskop, einen genauen Himmelsatlas und einige Erfahrung. Der Haufen erstreckt sich über die ganze Gegend zwischen dem südlichen Ende des Haars der Berenike, der Hand der Jungfrau bei Vindemiatrix (Epsilon Virginis), und Denebola im Schwanz des Löwen. In diesem Gebiet um den nördlichen galaktischen Pol der Milchstraße (»NGP«) sind Dutzende Galaxien auch schon mit kleineren Amateurfernrohren zu sehen. Wenn Sie viel Zeit und Muße haben, suchen Sie auch jenseits des Milchstraßenpols in den Jagdhunden, westlich von Cor Caroli (Alpha Canes Venatici) bis hin zur Vorderachse des Großen Wagens.

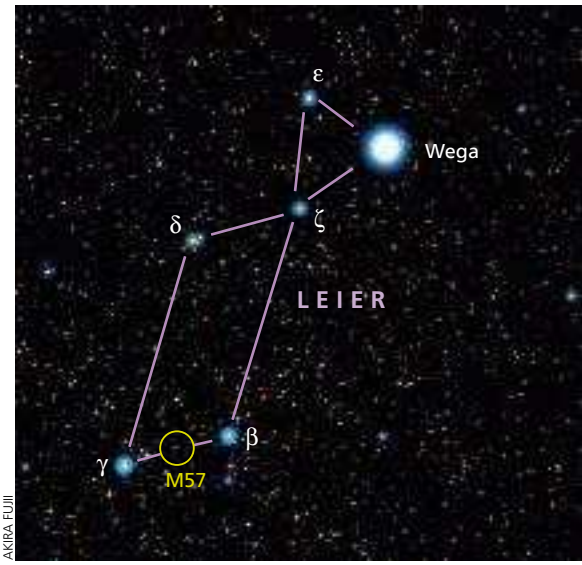
Den Osten des Mitternachtshimmels prägen die Sommersternbilder Leier (»Lyra«), Schwan (»Cygnus«) und Adler (»Aquila«), deren Hauptsterne Wega, Deneb und Atair das »Sommerdreieck« bilden. Seine Anwesenheit wird uns die folgenden Monate begleiten.

Ein hübscher Anblick in einem Teleskop mit hoher Vergrößerung ist M 57, der Ringnebel in der Leier. Umrahmt von Beta und Gamma Lyrae (β und γ Lyr, siehe Bild unten rechts) sieht M 57 aus wie ein kleiner, geisterhafter Rauchring. >

Das Haar der Berenike besteht aus einer kleinen Ansammlung von Sternen (Bildmitte), umgeben vom Löwen (rechts), dem Bärenhüter (links) und den Jagdhunden (oben). In einer dunklen Nacht erscheint der Komahaufen als großes, fusseliges, schwaches Leuchten.

AKIRA FUJII

Die Leier ist ein kompaktes kleines Dreieck mit anschließendem Parallelogramm, wobei der helle Stern Wega an einer Spitze des Dreiecks sitzt. Drei Doppelsternpaare sind hier sichtbar: Delta (δ), Zeta (ζ) und Epsilon (ε) Lyrae, der bekannte »Doppel-Doppelstern«.

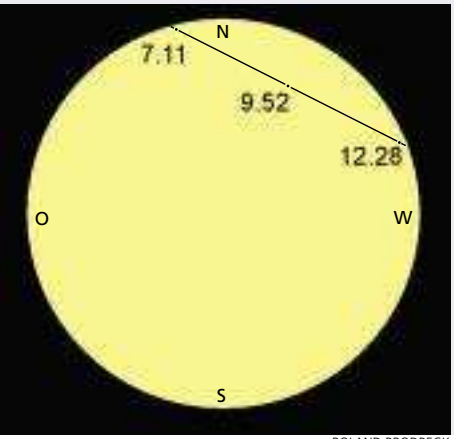


AKIRA FUJII

Merkur vor der Sonne

>> **Zum ersten Mal seit 1973** kann am Morgen des 7. Mai 2003 von ganz Deutschland aus wieder ein so genannter Merkurtransit in seiner vollen Länge beobachtet werden. Der sonnennächste Planet steht an diesem Tag so genau zwischen Sonne und Erde, dass er im Laufe von gut fünf Stunden als schwarzer Punkt vor der Sonnenscheibe vorüberzieht. Der kleinste Abstand des Merkurschattens vom Mittelpunkt der Sonnenscheibe beträgt hierbei knapp zwölf Bogenminuten. Das bedeutet, er schneidet die Sonnenscheibe nur am Rande (siehe Skizze unten). Merkur hat am Himmel nur einen Durchmesser von zwölf Bogensekunden – das entspricht dem 150. Teil des Sonnendurchmessers. Da der Planet also im Vergleich zur Sonne winzig ist, kann er in einem Fernrohr nur als kleiner schwarzer Fleck vor der Sonnenscheibe beobachtet werden.

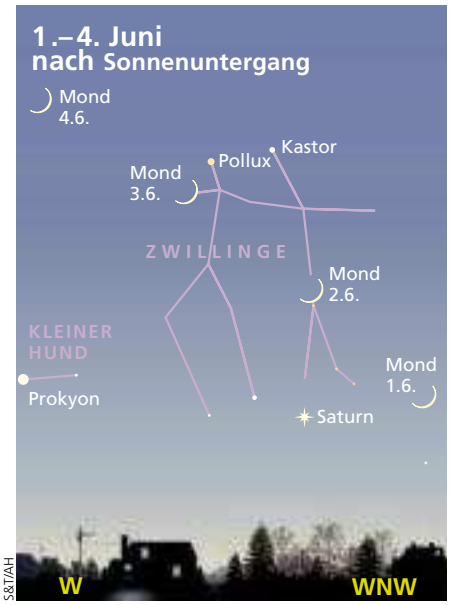
Das Teleskop muss auf jeden Fall für die Sonnenbeobachtung ausgerüstet sein! Beobachten Sie das Himmelsschauspiel auf keinen Fall ohne geeignete Filter, da Sie sonst Ihr Augenlicht aufs Spiel setzen! Wir empfehlen – klares Wetter vorausgesetzt – das Ereignis an einer Volkssternwarte zu beobachten. Der nächste von Deutschland aus beobachtbare Merkurtransit findet erst wieder am 9. Mai 2016 statt. >> Roland Brodbeck



ROLAND BRODBECK

>> **Beginn** (1. Kontakt)	07.11 Uhr
>> **Merkur vollständig vor der Sonne** (2. Kontakt)	07.16 Uhr
>> **Mitte**	09.52 Uhr
>> **Merkur berührt den Sonnenrand von innen** (3. Kontakt)	12.28 Uhr
>> **Ende** (4. Kontakt)	12.32 Uhr

Alle Zeitangaben in MESZ.



S&T/AH

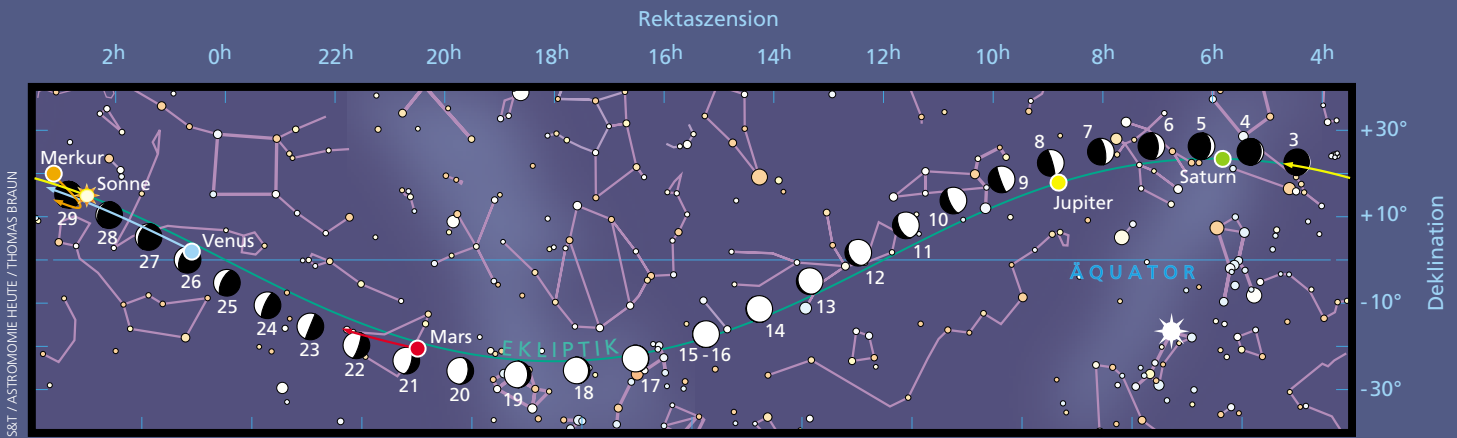
> Etwas links von Wega ist ein blasser Stern von ungefähr 6. Größe, den geübte Beobachter an dunklen, klaren Nächten als leicht länglichen Stern ausmachen. Dieser Stern ist Epsilon Lyrae. Ein Feldstecher kann ihn leicht in ein Paar gleich heller Sterne auflösen. Wenn man ein Fernrohr mit mehr als hundertfacher Vergrößerung verwendet, kann man beide Sterne dieses Pärchens als jeweils weiteres Paar erkennen, Epsilon Lyrae ist also ein erstaunlicher »Doppel-Doppelstern«.

Eine weitere Attraktion ist M13 im recht blassen Sternbild des Herkules. M13 ist der hellste Kugelsternhaufen des nördlichen Himmels und auf unserer Karte südsüdöstlich des Zenits, etwa auf der Linie zwischen Arktur und Wega.

Am Südosthorizont geht gerade der Schütze (»Sagittarius«) auf. In ihm und in seinen Nachbarsternbildern finden wir sechs der schönsten diffusen Gasnebel unserer Milchstraße, die zudem paarweise benachbart sind: der Lagunennebel M8 und der Trifidnebel M20 im Schützen, der offene Sternhaufen M16 mit dem Adlernebel IC4703 und der Omeganebel M17 nahe der Grenze zwischen dem Schwanz der Schlange (»Serpens Cauda«) und dem Schützen, sowie der Katzenpfotennebel NGC6334 und sein Nachbar NGC6357 im Schwanz des Skorpions. Die letzten beiden sind für Beobachter in Deutschland eine ganz besondere Herausforderung, da sie sich, wenn überhaupt – je nach Standort –, nur kurz über dem Horizont blicken lassen.

Drei besondere Schauspiele ereignen sich diesen Monat für Himmelsbeobachter, und alle haben mit der Sonne zu tun: ein Durchgang (»Transit«) und zwei Finsternisse. Der Merkurdurchgang vor der Sonnenscheibe findet am frühen Morgen des 7. Mai statt (siehe Kasten links oben).

Der Mond und die Planeten im Mai 2003

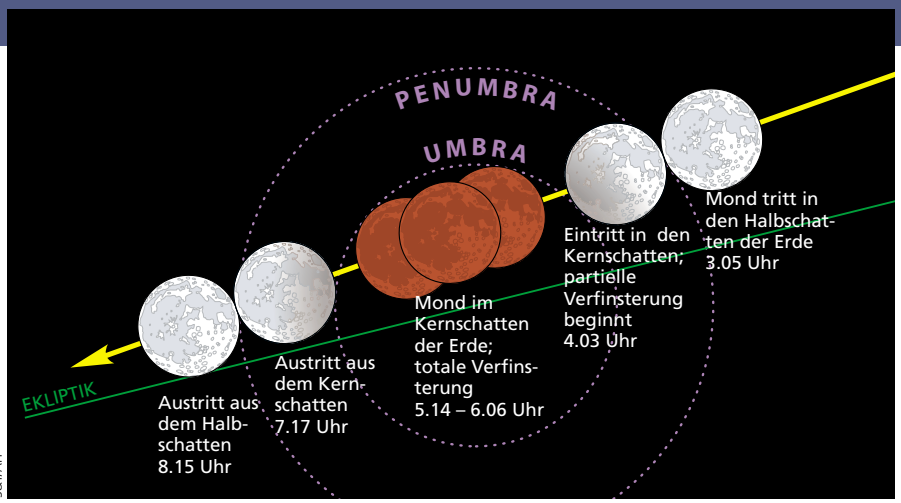


S&T / ASTRONOMIE HEUTE / THOMAS BRAUN

Eingezeichnet sind nur die mit bloßem Auge sichtbaren Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn.

Die Mondfinsternis vom 16. Mai findet zu Beginn des Morgengrauens statt und ist deshalb nur etwas für Frühaufsteher. Wirklich Sinn macht die Beobachtung ab 4 Uhr, wenn der Mond in den Kernschatten der Erde tritt. Spätestens zur Mitte der Finsternis um 5.40 Uhr ist das ganze Schauspiel aber auch schon vorbei, denn dann geht die Sonne auf und der Mond unter.

Alle Zeiten in MESZ.



Westeuropäer sehen einen Großteil einer Mondfinsternis gerade vor Morgendämmerung und Monduntergang am Morgen des 16. Mai (siehe Grafik oben). Der Mond steht an diesem Tag in der Nähe des Roten Überriesen Antares im Skorpion. Die Totalität der Finsternis wird leider erst erreicht, wenn im Osten Deutschlands und Österreichs die Sonne schon wieder aufgeht und die Beobachter blendet. Der Mond glimmt bei einer Verfinsterung in einem schönen tiefen Orange- bis Dunkelrot, da die Erde keinen harten Schatten wirft, sondern das Sonnenlicht in der Erdatmosphäre bricht und auf den Mond streut.

Eine ringförmige Sonnenfinsternis ist am Morgen des 31. Mai über Grönland, Island und Nordschottland zu bestaunen. Über dem kontinentalen Europa und Asien sieht man die Sonne nur teilweise durch den Mond abgeschattet (lesen Sie mehr dazu auf Seite 46).

Jupiter ist der hellste Punkt am Westhimmel; seine genaue Position im Widder können Sie dem Feldstecher-Tipp auf S. 51 entnehmen. Um den 10. und 20. Mai, sowie den 3., 16., und 28. Juni herum kann man die vier Galilei'schen Jupitermonde Io, Europa, Ganymed und Kallisto auf einer Seite des Riesenplaneten vereint sehen.

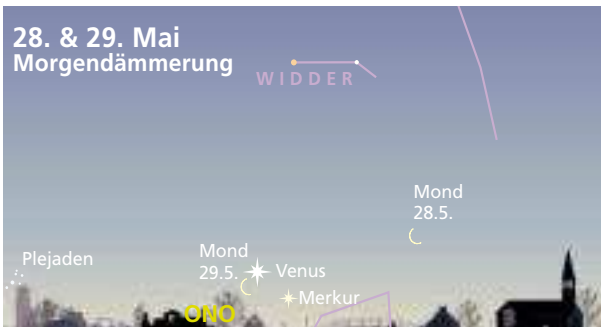
Der gelbliche **Saturn** steht noch weiter westlich des Jupiters in den Zwillingen (Grafik auf der Seite gegenüber) und verschwindet bis Ende Juni von der Beobachtungsliste. Er ist unser Highlight am Himmel (siehe S. 42).

Mars steigt bis Ende Juni in der Morgendämmerung nicht weiter als zwanzig Grad über den Horizont und bleibt somit schwierig zu sehen.

Venus ist morgens über dem östlichen Horizont auszumachen und zeigt sich bei dunstfreiem Himmel in der Morgendämmerung. Venus und **Merkur** stehen nahe beieinander; ihre größte Annäherung erreichen sie am 21. Juni. Die Grafik links unten zeigt die Situation am 28. und 29. Mai, wenn der Mond knapp an der Venus vorbeischrammt. Beobachter entlang der Linie Madagaskar – Japan sehen sogar eine Venusbedeckung!

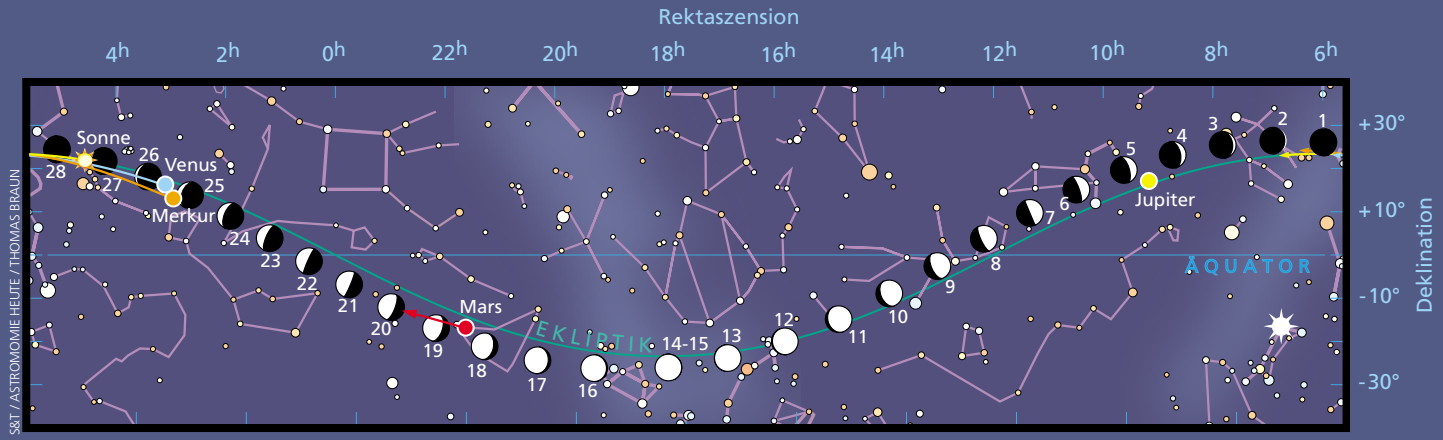
Bis zum 14. Mai hält sich die Sonne im Widder auf, danach im Stier. Die Sommersonnenwende erreicht sie am 21. Juni um 21.10 Uhr MESZ. Dieser Moment, wenn die Sonne die Grenze zu den Zwillingen passiert und den nördlichsten Punkt der Ekliptik erreicht, bezeichnet den Beginn des Sommers auf der nördlichen Hemisphäre.

Von den Kleinplaneten ist Vesta besonders zu erwähnen. Er beendet Mitte Mai seine Oppositionsperiode und wird stationär. Mit Helligkeiten um 6. und 7. Größe ist er ein prima Ziel für Feldstecher und kleine Fernrohre. Lesen Sie mehr auf Seite 52. <<



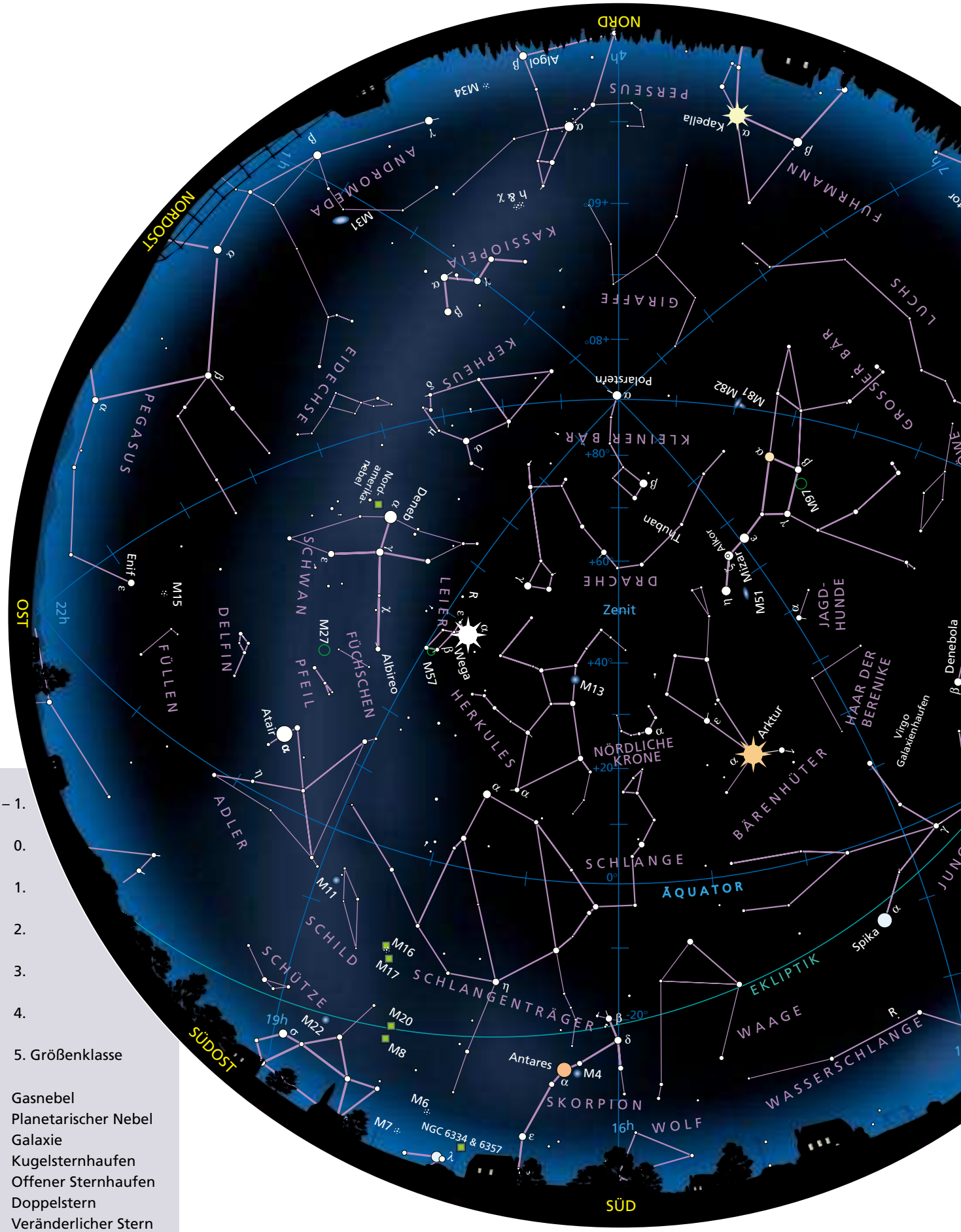
Fred Schaaf lebt in New Jersey und ist per Mail unter fschaaf@aol.com erreichbar (bitte auf Englisch).

Der Mond und die Planeten im Juni 2003



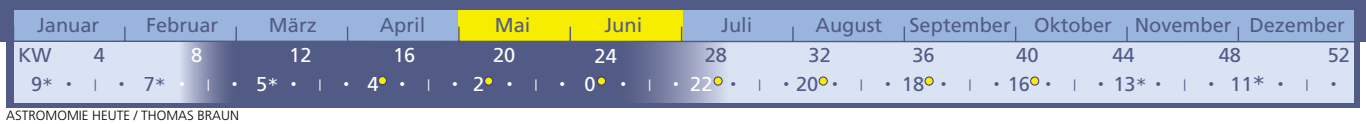
Der Mond ist zum besseren Erkennen der Mondphasen auf allen Karten in Übergröße dargestellt.

PLANETARIUM



1.
0.
1.
2.
3.
4.
5. Größenklasse

Gasnebel
Planetarischer Nebel
Galaxie
Kugelsternhaufen
Offener Sternhaufen
Doppelstern
Veränderlicher Stern



ASTROMOMIE HEUTE / THOMAS BRAUN

WANN

Der Zeitleiste (oben) können Sie die Gültigkeit der Sternkarte entnehmen. Wählen Sie das Datum anhand des Monats oder der Kalenderwoche (KW) und lesen Sie direkt darunter die zugehörige Uhrzeit ab. Beispiele:

Mai, erste Hälfte: **2 Uhr°**
Mai, zweite Hälfte: **1 Uhr°**
Juni, erste Hälfte: **Mitternacht°**
Juni, zweite Hälfte: **22 Uhr°**
Anfang Juli: **Abenddämmerung**

***Mitteleuropäische Zeit (MEZ)**
°Sommerzeit (MESZ)

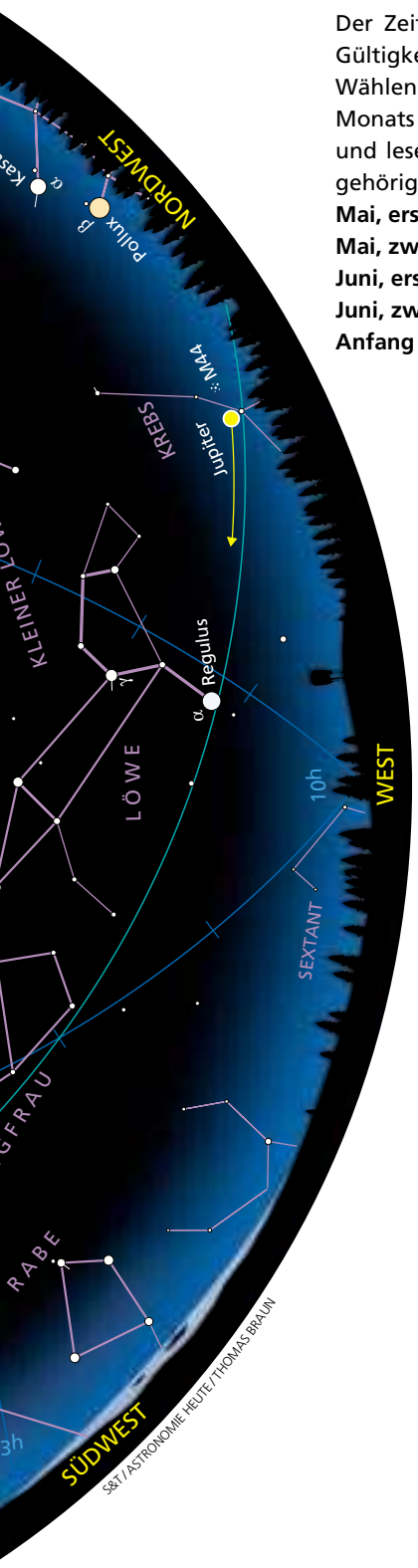
WIE

Auf der Sternkarte sehen Sie den Himmel so, wie er sich Ihnen zu den angegebenen Zeiten präsentiert. Zur Orientierung halten Sie die Karte so, dass der Rand mit der Himmelsrichtung, in die Sie schauen, zum Boden oder auf Sie zu zeigt. Die Sterne am Rand der Karte stehen dann direkt über dem Horizont.

Der im Zentrum der Karte dargestellte Himmelsausschnitt befindet sich genau über Ihnen – im Zenit. Ein Stern, der auf halbem Weg vom Rand zum Zentrum der Karte eingezeichnet ist, steht unter einem Winkel von 45 Grad am Himmel.

Beispiel: Drehen Sie die Sternkarte im Uhrzeigersinn, bis Südwest auf Sie zu zeigt. Etwa zwanzig Grad über dem Horizont leuchtet Spika in der Jungfrau, noch höher der unübersehbare Arktur im Bärenhüter. Den Osten nimmt das Sommerdreieck aus Wega, Deneb und Atair ein, der Große Bär dagegen hängt kopfüber im Nordwesten. Sein Rücken – bekannt als Großer Wagen – zeigt dabei mit seiner Hinterachse fast parallel zum Horizont auf den Polar- oder Nordstern.

Die Karte gilt für 50 Grad nördliche Breite, das entspricht der Linie Luxemburg – Frankfurt am Main – Prag. Beobachter in Süddeutschland, Österreich und der Schweiz sehen die Sterne im Süden etwas höher über dem Horizont und die im Norden etwas niedriger. In Norddeutschland ist es genau umgekehrt.



FELDSTECHERTIPP

Jupiter und die Krippe

>> Gary Seronik

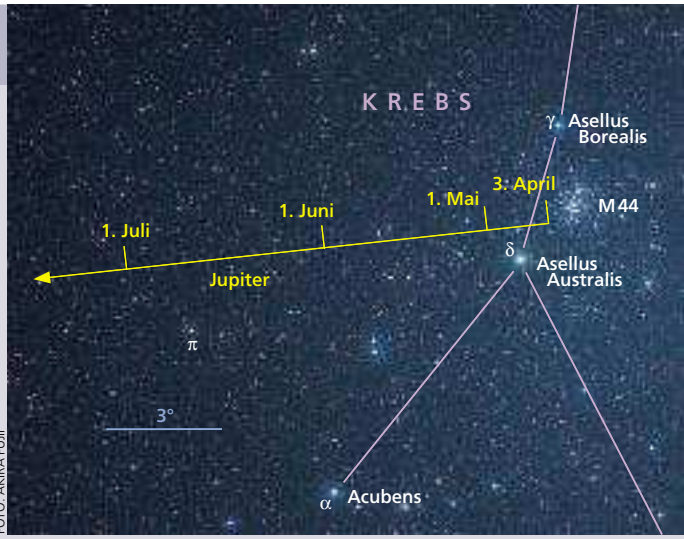


FOTO: AKIRA FUJII

Der König der Planeten zieht im Frühling seine Kreise im Sternbild Krebs (siehe auch »Favorit«, S. 58). Dies ist einer der willkommenen Fälle, bei dem ein Betrachter gleich zwei Attraktionen im Feld seines Fernglases vereint findet. Hier sind es Jupiter und ein heller offener Sternhaufen. Gemeint ist M44 im Krebs, genannt Praesepe oder die Krippe. Er besteht aus rund 600 Sternen, von denen zwei Dutzend hell genug sind, um im Feldstecher zu glänzen.

Das Sternbild Krebs ist zwar auf den ersten Blick recht unscheinbar, durch die Präsenz Jupiters jedoch kaum zu verfehlen. Bis Anfang April läuft der Planet von Osten kommend (»rechtläufig«) auf M44 zu, hält dann aber an. Astronomen sagen, er bildet eine Quadratur mit Erde und Sonne. Schließlich läuft er nach Osten wieder aus dem Sternbild hinaus. Dieses seltsam anmutende Verhalten am Firmament liegt daran, dass er von der Erde im Verlauf des letzten halben Jahres auf der schnelleren Innenbahn überholt wurde. Seit April zieht die Erde um die Sonne herum Jupiter davon, der sich dadurch wieder »rechtläufig« bewegt. <<

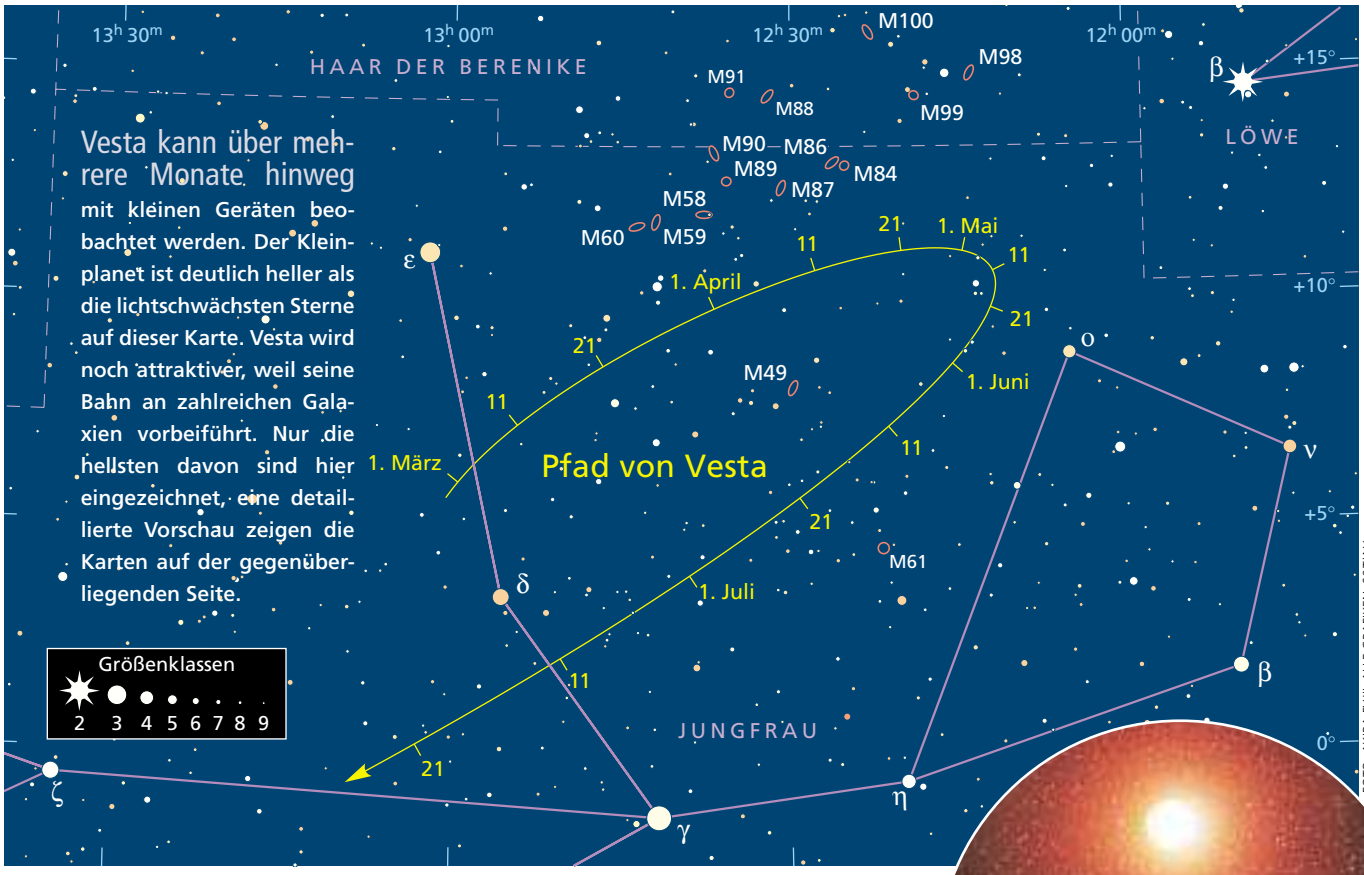
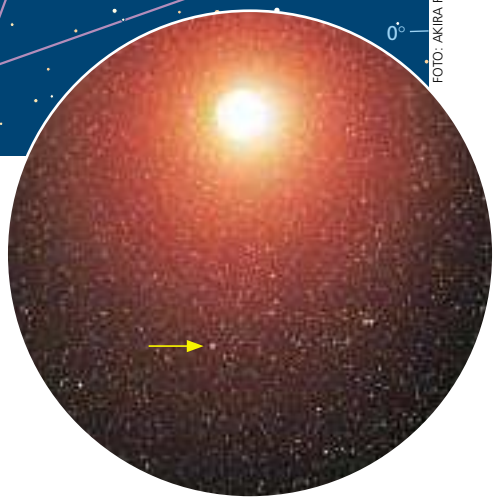


FOTO: AKIRA FUJII; ALLE GRAFIKEN: S&T/AH

Vestas Heimkehr

In diesem Jahr kommt der hellste aller Kleinplaneten dorthin zurück, wo er 1807 entdeckt wurde.

>> Greg Bryant



Im Juli 2000 erreichte Vesta (Pfeil) beinahe die größte Helligkeit, mit der er uns erscheinen kann. Allerdings scheiterte damals so mancher Beobachter am hellen Mondlicht. Vesta steht hier 2° südlich des verfinsterten Mondes, der durch in der Erdatmosphäre gebrochene Lichtstrahlen hell rötlich glimmt.

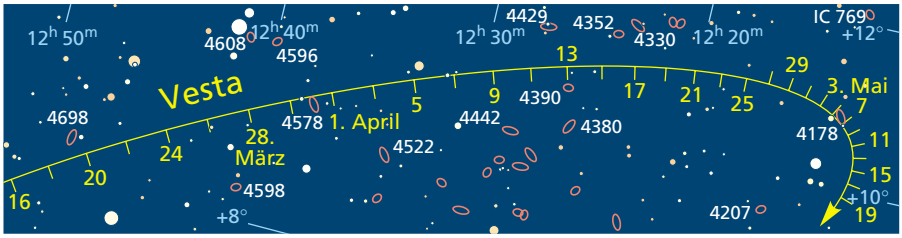
Während der nächsten Monate können Beobachter mit Feldstechern oder kleinen Fernrohren die Rückkehr des Asteroiden »4 Vesta« im Sternbild Jungfrau (»Virgo«) mitverfolgen. Für Amateurastronomen ist dies die günstigste Gelegenheit seit mehreren Jahren, den Kleinplaneten ins Visier zu nehmen: Am 26. März befand sich Vesta genau auf der Sonne gegenüberliegenden Seite der Erde (»in Opposition«) und konnte die ganze Nacht hindurch bestaunt werden.

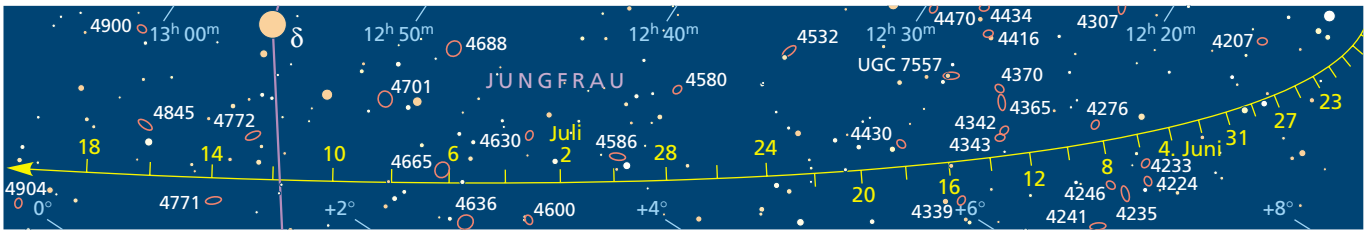
Im Juni und Juli steht Vesta während der frühen Abendstunden am höchsten über dem Horizont und ist deshalb bei Einbruch der Dunkelheit sehr gut zu beobachten. Seine Reise führt ihn an vielen der Deep-Sky-Objekte im Virgo-Galaxienhaufen vorbei, für die das Sternbild Jungfrau so berühmt ist. Ende März erreichte Vesta sein Helligkeitsmaximum mit 5,9ter Größe, seitdem verblasst er wieder, Ende April hat er 6,4te Größe. Seine weitere Helligkeitsabnahme lässt ihn am 1. Juni mit 7,0ter und Anfang August mit 7,6ter Größe erscheinen.

Manche Beobachter erinnern sich bei der Erwähnung von Vesta an das Jahr 2000, als er das letzte Mal in Opposition stand. Damals war er mit einem Maximum von 5,4ter Größe noch heller als jetzt, aber in jener Nacht fiel dieses Ereignis mit dem Vollmond und einer totalen Mondfinsternis zusammen (siehe Foto rechts oben und Seite 49 zur Finsternis am 16. Mai 2003). Dieses Jahr ist der Mond allerdings weit genug entfernt und stört die Beobachtungen nicht.

Unter den Zehntausenden Asteroiden in unserem Sonnensystem ist Vesta bei weitem derjenige, der am einfachsten zu beobachten ist. Alle paar Jahre wird Vesta heller als 6,0te Größe. Bei einer solchen Gelegenheit entdeckte der deutsche Arzt und Astronom Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers am 29. März 1807 den »unbekannten Stern«, der sich bald als vierter Kleinplanet nach den drei damals bekannten Asteroiden 1 Ceres, 2 Pallas und 3 Juno herausstellte.

Olbers war ein erfolgreicher Beobachter: Fünf Jahre zuvor hatte er Pallas ent-





deckt, seinerzeit den zweiten bekannten Asteroiden überhaupt. Auch drei Kometen, von denen einer alle siebzig Jahre wiederkehrt, tragen seinen Namen. Heutzutage ist Olbers jedoch den meisten für das nach ihm benannte Paradoxon bekannt (siehe Glossar).Vom Sternbild der Jungfrau war Olbers Zeit seines Lebens fasziniert. 1796 entdeckte er südlich von Spika, dem hellsten Stern in der Jungfrau, seinen zweiten Kometen. 1802 beobachtete er dank der Berechnungen von Carl Friedrich Gauß die Rückkehr des ersten Kleinplaneten Ceres ein Jahr nach dessen Entdeckung durch den sizilianischen Mönch Giuseppe Piazzi. Ein paar Monate später fand er Pallas im nördlichen Teil der Jungfrau.

Was lässt Vesta so hell leuchten?

Wie andere Planeten und Asteroiden erreicht auch Vesta bei verschiedenen Oppositionen unterschiedliche maximale Helligkeiten. Betrachten wir den Zeitraum von 1990 bis 2020, schwankt die Maximalhelligkeit zwischen 5,3ter Größe im Juni 2018 und 6,5ter Größe im November 1990. In den nächsten Jahren hat Vesta eine Helligkeit von 6,1ter Größe im September 2004, 6,2ter im Januar 2006 und 5,4ter im Mai 2007. Zweihundert Jahre nach seiner Entdeckung wird er also heller sein als Uranus.

Ein wesentlicher Faktor für Vestas Helligkeitsschwankungen ist natürlich auch die jeweilige Position des Kleinplaneten entlang seiner elliptischen 3,6 Jahre währenden Umlaufbahn. Je näher er der Sonne ist, desto stärker wird er von ihr beschienen. Dieses Jahr erreicht Vesta sein »Perihel«, den sonnennächsten Punkt, erst am 28. Oktober, sieben Monate nach der Opposition. Zu dieser Zeit ist Vesta nur 2,15 Astronomische Einheiten (siehe Glossar) von der Sonne entfernt. Im »Aphel«, dem sonnenfernsten Punkt, sind es dagegen 2,57 Astronomische Einheiten.

Für die Helligkeit der Asteroiden spielt auch deren Durchmesser eine Rolle, allerdings nicht so sehr, wie man vielleicht erwartet. Der fast kugelrunde Vesta misst 530 Kilometer im Querschnitt. Damit ist er ein wenig größer als Pallas mit 524 Kilometern. Beide stehen jedoch im Schatten von Ceres mit stattlichen 933 Kilometern.

Den vierten Platz hält Hygiea mit 429 Kilometern, ebenfalls ein Mitglied des Asteroidengürtels zwischen Mars und Jupiter. Im Kuiper-Gürtel jenseits der Neptun-Bahn hat man jedoch einige »Trans-Neptun-Objekte« (TNOs) entdeckt, die Ceres bezüglich seiner Größe den ersten Rang ablaufen: 20 000 Varuna, 28 978 Ixion und 50 000 Quaoar (siehe ASTRONOMIE HEUTE 1/2003, S. 11). Überflüssig zu sagen, dass die Mitglieder des nur etwa zwei bis vier Astronomische Einheiten von der Sonne entfernten Asteroidengürtels wesentlich einfacher zu beobachten sind, als die des Kuiper-Gürtels in einer Entfernung von dreißig bis hundert Astronomischen Einheiten.

Obwohl Vesta weder der größte noch der uns am nächsten kommende Asteroid ist, überrascht seine große Helligkeit. Die Erklärung liegt in seiner »Albedo« oder Oberflächenreflektivität (siehe Glossar). Asteroiden wie Ceres reflektieren ungefähr elf Prozent des eingestrahlten Sonnenlichts, andere wie 18 Melpomene haben ein Rückstrahlvermögen von 22 Prozent. Vesta ist geologisch völlig einzigartig und reflektiert – wie eine Pampelmuse – beachtliche 42 Prozent! <<

Diese Karten haben eine Höhe von 3°, etwa so viel wie das Gesichtsfeld eines kleinen Fernrohrs bei 20facher Vergrößerung. Die Markierungen an der Bahn geben die Positionen um 0 Uhr »UT« (2 Uhr MESZ) an. Verzeichnet sind Sterne bis 11. Größe und Galaxien bis 13. Größe.

GLOSSAR

Astronomische Einheit: Eine »AE« ist der mittlere Abstand zwischen Erde und Sonne, also rund 150 Millionen Kilometer. Mars ist etwa 1,5 AE von der Sonne entfernt, Jupiter etwa 5 AE und der äußerste Planet des Sonnensystems Pluto knapp 40 AE.

Albedo: Sie bezeichnet die Reflexionsfähigkeit eines Stoffes oder Objekts für sichtbares Licht. Sie wird meist als Dezimalzahl zwischen 0 und 1 angegeben. Beispiele (Durchschnittswerte): Basaltgestein 0,05 ; Kalk 0,36 ; Wolken 0,7 ; Kreide 0,85 ; Schnee 0,9. Astronomische Objekte: Mond 0,07 ; Saturn 0,42 ; Jupiter 0,51 ; Neptun 0,62 ; Venus 0,72.

Olbers'sches Paradoxon: Warum erscheint der Himmel in der Nacht dunkel, wenn das Weltall doch unendlich groß ist und es unendlich viele Sterne gibt? Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers (1758–1840) glaubte zunächst, die Lösung sei im Licht schluckenden interstellaren Staub zu suchen. Das Problem dieser Theorie ist aber, dass der Staub sich mit der Zeit aufheizen und seinerseits strahlen würde. Die Lösung des Paradoxons besteht darin, dass das Universum endlich und die Anzahl der Sterne darin begrenzt ist.

Greg Bryant ist Redakteur von Sky & Telescope und ein Experte für den Sternhimmel der südlichen Hemisphäre.

DIGITALIZED SKY SURVEY

Obwohl der große Planetarische Nebel Jones-Emberson 1 **im Sternbild Luchs unter Deep-Sky-Beobachtern fast unbekannt ist, kann er schon mit einem 8-Zoll-Teleskop (20 cm) betrachtet werden. Um einzelne Knoten innerhalb der Ringstruktur auflösen zu können, ist jedoch ein größeres Fernrohr nötig. Das Gesichtsfeld bei diesem Bild beträgt zirka 0,25°; Norden ist oben – wie bei allen anderen Abbildungen dieses Artikels.**

Verblasste Giganten

Planetarische Nebel zählen zu den attraktivsten Objekten für Deep-Sky-Beobachter. Ihre Gashüllen zeugen vom Todeskampf roter Riesensterne.

>> Richard Jakiel

Planetarische Nebel sind riesige, schwach leuchtende Gashüllen, deren Durchmesser mehrere Lichtjahre betragen können. Der Astronom George Abell war einer der Ersten, der auf der Suche nach den verblassten Giganten ein Archiv von Himmelsaufnahmen systematisch nach ihnen durchkämmte: die im roten Licht aufgenommenen Fotoplatten des 48-Zoll-Schmidt-Teleskops am Mount Palomar Observatory in Kalifornien. Im Jahre 1966 veröffentlichte er eine Liste von über achtzig neu entdeckten Objekten, die heute als Abell-Nebel bezeichnet werden. Der Frühling ist eine gute Jahreszeit, um ein paar dieser Objekte sowie einige andere große Planetarische Nebel zu beobachten.

Spaß mit Abell-Objekten

Zwar bevölkern relativ viele dieser Nebel den nördlichen Frühlingssternhimmel, die meisten von ihnen sind jedoch nur schwach leuchtende Gasscheiben ohne jegliche Struktur. Bei einigen wenigen können ansatzweise interessante Details beobachtet werden. Abell 31 ist ein typischer Vertreter dieser Klasse: eine riesige, unregelmäßig geformte runde Hülle aus Gas, deren Winkeldurchmesser etwa ein viertel Grad beträgt. Das entspricht ungefähr der Ausdehnung des Helixnebels (NGC 7293), der aber bedeutend kräftiger leuchtet.

Obwohl nur 2,5 Grad südsüdöstlich des bekannten offenen Sternhaufens M 67 gelegen, wird Abell 31 von den meisten Amateurastronomen gerne übersehen. Die Flächenhelligkeit des Objekts ist jedoch groß genug, um es bei guten Bedingungen auch mit Fernrohren mittlerer Öffnung sehen zu können.

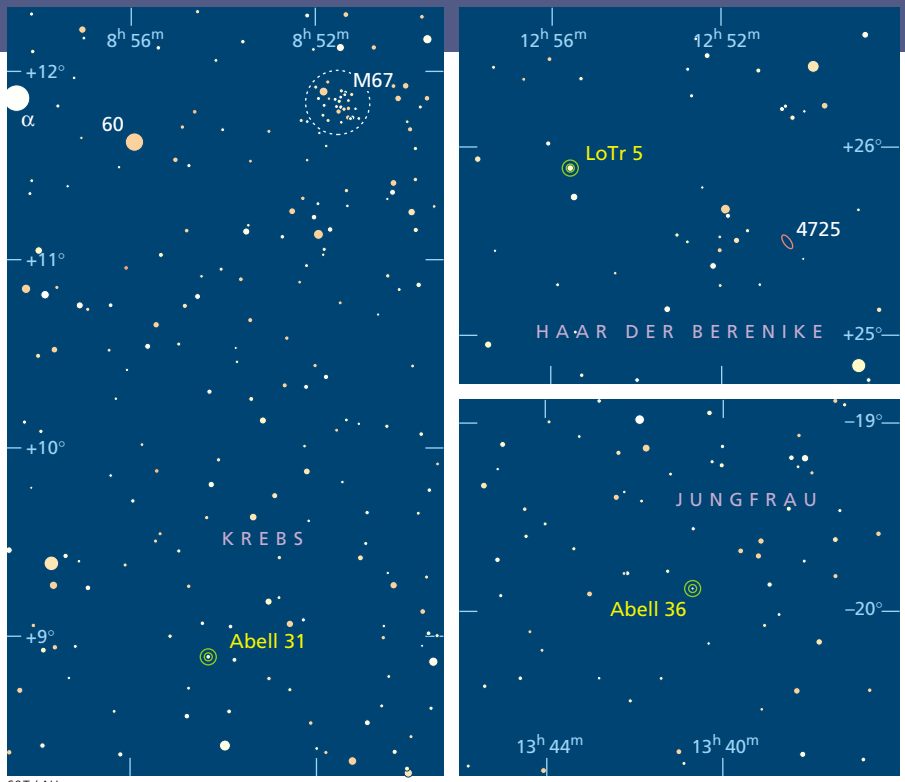
Weiter südlich befindet sich Abell 33, der »kleinste Riese«, den ich Ihnen als nächsten auf meiner Liste vorstellen möchte. Mit einem Durchmesser von lediglich 4,5 Bogenminuten würden ihn viele gar nicht zu den großen Planetarischen Nebeln zählen. Optisch erscheint er als fast perfekte runde Gasscheibe mit einem Stern 7. Größe an seinem südwestlichen Rand. Obwohl die Flächenhelligkeit des Nebels hoch genug ist, damit dieser nicht vollständig durch den hellen Stern überstrahlt wird, ist es dennoch hilfreich, den Stern bei der Beobachtung außerhalb des Gesichtsfelds zu platzieren.

Abell 34 ähnelt in Bezug auf Größe und Helligkeit dem eben beschriebenen Abell 33 und liegt ungefähr zwei Grad nordwestlich des Sterns Ny[1] Hydrae (1 Hya, 4. Größe). Das recht anspruchsvolle Beobachtungsobjekt lässt in meinem 17,5-Zoll-Reflektor (44 Zentimeter) seine runde Struktur nur erahnen.

Die beiden letzten Abells auf meiner Liste sind wieder interessanter. Abell 35 hat einen Durchmesser von einem viertel Grad und sein Zentralstern ist ein Doppelstern 13. Größe. Außerdem sind dort zwei parallel verlaufende, nebelartige Strukturen – die so genannten Rohre – zu erkennen, die das Objekt fast genau in ostwestlicher Richtung durchschneiden. Der Zentralstern ist in meinem Teleskop gut zu identifizieren – Details innerhalb des Nebelfleckchens sind jedoch nur andeutungsweise zu erkennen.

Als ich Abell 36 vor ein paar Jahren zum ersten Mal beobachtete, präsentierte sich mir dieser Nebel als eines der interessantesten Objekte seiner Art. Anstatt einer schwach leuchtenden Gasscheibe waren eine längliche Form sowie viele dunkle Linien, helle Bögen und Knoten deutlich auszumachen. Damals kam mir dieser Planetarische Nebel wie eine abgespeckte Version des Trifidnebels (M 20) vor. In Beschreibungen von Profiastronomen ist oft von einer Helixstruktur die Rede, ähnlich der in NGC 6543 (Katzenaugennebel), jedoch mit wesentlich größerer Ausdehnung. Der Zentralstern ist mit einer Helligkeit von 12. Größe gut zu erkennen.

Der erste Nebel auf meiner Liste, der nicht im Abell-Katalog steht, ist einer der bekanntesten »Riesen« am nördlichen



S&T / AH

Der auffällige offene Sternhaufen M 67 (links) ist ein idealer Ausgangspunkt für die Suche nach Abell 31. Die schwächsten in dieser Aufsuchkarte verzeichneten Sterne haben 11. Größe.
Oben rechts: Die wenigen Amateure, denen es gelungen ist, den großen Planetarischen Nebel Longmore-Tritton 5 zu finden, verdienen einen Orden für exzellente Deep-Sky-Arbeit. Falls es Ihnen nicht gelingen sollte, den Nebel zu sehen, können Sie sich aber auch mit der Balkenspirale NGC 4725 trösten.
Unten rechts: In einem relativ »leeren« Gebiet im Sternbild Jungfrau (»Virgo«) ist Abell 36 eines der wenigen Objekte, das in großen Amateurfernrohren Struktur zeigt.

Frühlingssternhimmel: Jones-Emberson 1 – kurz JnEr 1 – wurde 1939 von zwei Astronomen der Harvard Sternwarte entdeckt. Über vierzig Jahre lang wurde dieser Planetarische Nebel mit einem Paar schwacher Galaxien (NGC 2474 und 2475) verwechselt, die ungefähr ein halbes Grad südlich von ihm liegen. Teilweise dürfte die Verwirrung darauf zurückzuführen sein, dass JnEr 1 innerhalb seiner ringförmigen Struktur zwei helle Knoten aufweist, die fast genauso weit voneinander entfernt sind wie diese beiden Galaxien. Die Gründe für diese »kosmische Verwechslung« wurden 1981 in einem Leserbrief der beiden Astronomen Nancy und Ron Buta an Sky & Telescope aufgedeckt.

Beliebte Planetarische Nebel

Im Vergleich zu den meisten anderen Planetarischen Nebeln ist JnEr 1 praktisch genau in der Mitte des Sternbildes Luchs (»Lynx«) recht einfach zu finden. Auch was seine Morphologie angeht, ist er wesentlich interessanter als die anderen.

Im Sternbild Luchs befindet sich auch einer der größten Planetarischen Nebel des gesamten Sternhimmels – das extrem schwierig zu beobachtende Objekt Purgarthofer-Weinberger 1, kurz PuWe 1. Er wurde im Jahre 1980 entdeckt und ist mit zwanzig Bogenminuten um dreißig Prozent größer als der berühmte Helixnebel (NGC 7293) im Sternbild Wassermann. In einer Entfernung von fast tausend Lichtjahren entspricht das einer Ausdehnung von beeindruckenden sechs Lichtjahren. Dadurch schafft es der Zentralstern 15. Größe kaum noch, die riesige Gashülle zum Leuchten zu bringen, sodass der Nebel nur sehr schwierig zu beobachten ist. In einer Nacht mit sehr guten Bedingungen gelang es mir endlich, die hellsten Bereiche der Ringstruktur von PuWe 1 zu erkennen. Zwei breite Bögen waren gerade noch zu identifizieren: Einer von ihnen misst etwa 120 Grad und verläuft von Nordnordwest nach Nordost. Beim anderen handelt es sich um ein kleineres Segment im Südwesten.

Der letzte Planetarische Nebel auf meiner Liste ist Longmore-Tritton 5 (LoTr 5), ein schwach leuchtender »Riese«, der sich nur zwei Grad südlich des Coma-Galaxienhaufens befindet. Mit einer Entfernung von 1,5 Grad vom nördlichen galaktischen Pol besitzt er die höchste galaktische Breite aller Planetarischen Nebel überhaupt. Sein Zentralstern ist Teil eines Doppelsternsystems, dessen hellerer Partner zwischen 8,7ter und 8,9ter Größe schwankt, jedoch stark genug strahlt, um bei der Beobachtung des Nebels zu stören.

In den letzten zehn Jahren ist es immer beliebter geworden, Planetarische Nebel ins Visier zu nehmen. Etliche Webseiten (siehe Liste unten) präsentieren Einzelheiten dieser faszinierenden Objekte. <<

Planetarische Nebel

Bezeichnung	Perek-Kohoutek-Nummer	R.A. (2000.0)	Deklination	Durchmesser	Sternbild
PuWe 1	PK158+17,1	6h 19,6m	+55° 37′	20′	Luchs
JnEr 1	PK164+31,1	7h 57,9m	+53° 25′	6,3′	Luchs
Abell 31	PK219+31,1	8h 54,2m	+ 8° 54′	16′	Krebs
Abell 33	PK238+34,1	9h 39,9m	- 2° 49′	4,5′	Wasserschlange
Abell 34	PK248+29,1	9h 45,6m	- 13° 10′	5′	Wasserschlange
Abell 35	PK303+40,1	12h 53,7m	- 22° 52′	13′	Wasserschlange
LoTr 5	PK339+88,1	12h 55,6m	+25° 54′	9′	Haar der Berenike
Abell 36	PK318+41,1	13h 40,7m	- 19° 53′	6′	Jungfrau

Richard Jakiel ist Amateurastronom mit großem Interesse an der Deep-Sky-Beobachtung und schreibt regelmäßig für ASTRONOMIE HEUTE. Er ist unter rjakiel@earthlink.com (bitte in Englisch) erreichbar.

Links

> http://home.teleos-web.de/jbohle/
> www.psiaz.com/polakis/abell/abell.html
> www.icplanetaries.com/abell.html

Literaturhinweis

Planetary Nebulae: A Practical Guide and Handbook for Amateur Astronomers. Von Steven J. Hynes. William Bell Inc., Richmond, Virginia 1991.

Gasausbrüche auf Aristarchus

Deuten Berichte über Veränderungen in Aristarchus auf Mondvulkanismus hin?

>> Charles A. Wood

GARY SERONIK

Aristarchus liegt nordwestlich des auffälligsten Mondkraters, Copernicus. Das Foto stammt von Sky & Telescope-Redakteur Gary Seronik und wurde mit einem 6-Zoll-Quantum-Maksutov-Teleskop und einer Digitalkamera vom Typ Nikon Coolpix 4500 aufgenommen.

Der Mondkrater Aristarchus zieht schon seit langem die besondere Aufmerksamkeit vieler Beobachter auf sich. Sogar veränderliche Phänomene wurden bereits bei ihm gesichtet.

Aristarchus hat einen Durchmesser von etwa vierzig Kilometern und gehört zu den Einschlagkratern vom Typ Tycho. Zwar ist Aristarchus heller als Tycho, doch glauben die Mondforscher, dass er bedeutend älter ist als der erst vor zirka hundert Millionen Jahren entstandene Krater. Das schließen sie aus der größeren Anzahl kleiner Sekundärkrater, die nachträglich auf seiner Oberfläche entstanden. Heute geht man davon aus, dass Aristarchus bereits vor etwa 500 Millionen Jahren bei einem großen Einschlag geformt wurde.

Messerscharfe Kämme, terrassenförmige Wände und ein kleiner Zentralberg, der aus der flachen Kraterebene herausragt, zeichnen Aristarchus aus. Eines seiner bemerkenswertesten Oberflächendetails ist eine Reihe strahlenförmig verlaufender dunkler Bänder, die die westliche Kraterwand hinaufführen. Amateurastronomen beobachten sie schon seit mehr als einem Jahrhundert und haben in der Zwischenzeit verschiedenste Theorien dazu entwickelt – einschließlich der längst überholten Vorstellung, dass die Bänder pflanzlichen Ursprungs sind. Zurzeit werden sie etwas nüchterner als glashaltige Streifen interpretiert: Silikate, die durch den Einschlag freigelegt, herausgeschleudert wurden und anschließend wieder in den Krater herabregneten, könnten durch die enorme Hitze des Einschlags zu Glas verbacken sein.

Die Strahlen von Aristarchus erstrecken sich in südlicher und östlicher Richtung 125 bis 150 Kilometer über den Rand des Kraters hinaus und treffen an ihren Enden mit denen von Copernicus und Kepler zusammen. Hochauflösende Satellitenbilder zeigen, dass Aristarchus wie auch Tycho von einem dunklen Halo umgeben sind, der von Spritzern der Einschlagsschmelze stammt.

Das Besondere daran: Obwohl auf dem Plateau in der unmittelbaren Umge-

BROWN UNIVERSITY / NASA NORTHEAST REGIONAL DATA

Ein besonders schönes Bild des Kraters Aristarchus nahm die Mondsonde Lunar Orbiter auf. Die Umgebung des Kraters war lange ein beliebtes Revier für die Jagd nach so genannten Transient Lunar Phenomena (TLPs) – kurzzeitigen Veränderungen der Mondoberfläche. Noch ist jedoch fraglich, ob die beobachteten Phänomene tatsächlich ein Indiz für Gasausbrüche oder Vulkanismus auf dem Mond sind.

ALAN ADLER

Alan Adler fotografierte Aristarchus **und das gewundene Tal »Vallis Schröteri« mit seinem 8-Zoll-Newton-Teleskop. Er überlagerte zehn digitale Einzelaufnahmen zu dem hier gezeigten Bild.**

bung des Kraters keine Strahlen sichtbar sind, erkennt man jenseits seines nordöstlichen Rands sehr wohl einige kurze Ausläufer dieser Strahlen. Deren Fehlen auf der Hochebene lässt eigentlich vermuten, dass ihre Oberfläche jünger ist als der Krater selbst.

Das erscheint jedoch kaum vorstellbar. Satellitenbilder zeigen Sekundärkrater auf dem Plateau, bei deren Entstehung eher dunkles Mantelmaterial anstelle von hellem Krustengestein an die Oberfläche transportiert wurde. Dunkle Strahlen auf dunklem Untergrund sind aber naturgemäß nur sehr schwer zu erkennen.

Der Hauptgrund für Aristarchus' Berühmtheit sind die zahlreichen Berichte über so genannte Transient Lunar Phenomena (TLP), vergängliche Erscheinungen auf der Mondoberfläche, die von verschiedenen Beobachtern gesichtet wurden.

Das glaubwürdigste Dokument stammt von James Greenacre und Edward Barr. Mit dem 24-Zoll-Refraktor (sechzig Zentimeter) des Lowell Observatory beobachteten sie am 30. Oktober 1963 in und um den Krater herum drei orangerote Flecken. Einen Monat später entdeckten sie zusammen mit drei anderen Astronomen – diesmal sogar mit zwei verschiedenen Teleskopen – an fast derselben Stelle der Mondoberfläche zwei weitere blassrosa leuchtende Punkte.

Eruptionen glühender Lava, so die Überzeugung Greenacres, seien dafür verantwortlich. Es ist allerdings ziemlich unwahrscheinlich, dass an drei weit voneinander entfernten Stellen der Mondoberfläche – sie liegen immerhin einige zehn Kilometer auseinander – gleichzeitig Eruptionen stattgefunden haben sollen und sich dieses Schauspiel dann genau einen Monat später wiederholte.

Mit ziemlicher Sicherheit sind diese erfahrenen Beobachter von einer Kombination aus atmosphärischen Turbulenzen, Farbfehlern ihrer Linsenteleskope oder von dem von hellen Kraterhängen zurückgeworfenen Sonnenlicht in die Irre geführt worden.

Vielleicht steckt aber auch mehr dahinter: Ein Messgerät der Apollo-15-Kommandokapsel fand bei einer Umrundung des Mondes Hinweise auf Radongas in der Nähe von Aristarchus. Während man heute davon ausgeht, dass Vulkanismus auf dem Mond nicht mehr existiert, ist es dennoch denkbar, dass dort Gase freigesetzt werden, die beim radioaktiven Zerfall von Uran und Thorium entstehen.

Die seit etwa zweihundert Jahren geführte Debatte über die Existenz von vorübergehenden Erscheinungen auf der Mondoberfläche könnte sich also vielleicht ganz einfach erklären lassen. <<

Charles A. Wood ist begeisterter Mondbeobachter, Planetologe und Leiter der Bildungsprogramme von »Biosphere 2« in der Nähe von Tucson, Arizona.

So finden Sie Aristarchus:

GARY SERONIK

Aristarchus ist am besten zu beobachten, wenn ihn der Terminator, die Tag-Nacht-Grenze, überstreicht. Das ist am 28. April gegen 1 Uhr MESZ, am 12. Mai gegen 20 Uhr MESZ und am 25. Juni gegen 1 Uhr MESZ der Fall. Aristarchus ist so hell, dass er einige Tage nach Neumond bei schmaler zunehmender Sichel sogar auf der unbeleuchteten Mondscheibe zu sehen ist.

ANZEIGE

KÜNSTLERISCHE DARSTELLUNG NASA / LYNETTE COOK

Ein Planet – da, wo er hingehört

Peter Ulmschneider
promovierte 1966 als Fulbright-Stipendiat in Yale und ist seit 1980 Professor am Institut für theoretische Astrophysik der Uni Heidelberg.
In seinem kürzlich im Springer-Verlag erschienenen Buch »Intelligent Life in the Universe« stellt er alle Forschungsergebnisse zur Frage nach der Existenz außerirdischen Lebens zusammen.
www.springer.de/phys

Eine Pressemitteilung erregte im Dezember 2002 internationales Aufsehen: In 44 Lichtjahren Entfernung von der Erde wurde das erste Sonnensystem entdeckt, das unserem vergleichbar ist. Nach seinem Zentralstern heißt das System 55 Cancri (im Sternbild Krebs, »Cancer«) oder kurz 55 (ρ^1) Cnc. Der Stern selbst ist fast ein Ebenbild unserer Sonne (Spektraltyp: G8V) und erscheint uns mit einer Helligkeit von knapp 6. Größe.

Der neu entdeckte Planet 55 Cnc d ist viermal massereicher als unser Jupiter und kreist in einer Entfernung von 5,9 Astronomischen Einheiten (AE) um 55 Cnc, während Jupiter 5,2 AE von unserer Sonne entfernt seine Bahn zieht. Ungewöhnlich ist, dass das System 55 Cnc noch zwei weitere Riesenplaneten enthält: In 0,12 AE Entfernung zum Stern kreist ein 0,84 Jupitermassen großer Planet und in 0,24 AE Abstand ein anderer mit 0,21 Jupitermassen.

Durch eine Eigenheit der Nachweismethode (siehe Kasten S. 12) entdeckt man fast ausschließlich Planeten, die ganz eng um ihre Zentralsterne kreisen; seit 1995 sind es hundert Planeten. 55 Cnc d ist der erste Exo-Jupiter, der unsere Theorien der Entstehung von großen Planeten bestätigt: Wir nehmen an, dass die Gasriesen jenseits von etwa fünf AE gebildet werden.

Weil wohl alle Riesenplaneten dort entstehen, stellt 55 Cnc das erste »normale« Sonnensystem dar, während in den zirka fünf Prozent aller Systeme mit engen Riesenplaneten diese wahrscheinlich von ihrem Entstehungsort nach innen wanderten. <<

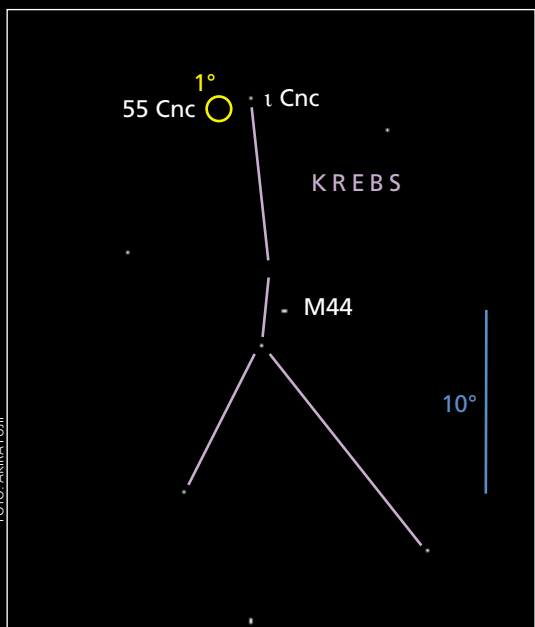


FOTO: AKIRA FUJII

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

Stefanie Komossa **vor ihrem Arbeitsplatz, dem Max-Plack-Institut für Extraterrestrische Physik (MPE) in Garching.**

Massemonstern auf der Spur

Gemeinsam mit ihrem Kollegen Günther Hasinger entdeckte Stefanie Komossa erstmals zwei Schwarze Löcher im Kern einer einzigen Galaxie. ASTRONOMIE HEUTE fragte nach.

ASTRONOMIE HEUTE: Frau Komossa, über Ihre Entdeckung berichteten in den letzten Monaten sowohl die Fachzeitschriften als auch populäre Magazine. Wie kam es dazu?

Komossa: Eigentlich hatten wir die Galaxie NGC 6240 schon lange im Visier. Seit ihrer Entdeckung in den 1960er Jahren hat sie immer wieder die Astronomen – Theoretiker wie auch Beobachter – interessiert, da sie viele ungewöhnliche Eigenschaften zeigt: So hat sie beispielsweise eine sehr hohe Infrarotleuchtkraft. Die Frage war, was die ultimative Quelle im Zentrum dieser Galaxie ist, die zu diesem enormen Strahlungsausstoß führt. Ich selbst habe schon während meiner Diplomzeit in Bochum mit ersten Beobachtungen dieser Galaxie begonnen.

AH: Doch richtig nahe kamen Sie dem Zentrum dieser Galaxie erst jetzt. Warum so spät?

Komossa: Mit dem neuen Röntgensatelliten Chandra wurde es erstmals möglich, hochaufgelöste Röntgenbilder von NGC 6240 zu machen. Wir haben die Galaxie vor allem deshalb zur Beobachtung vorgeschlagen, um endlich herauszufinden, was im Kernbereich passiert. Normalerweise kann man nicht direkt in das Zentrum einer Galaxie schauen, da Gas und Staub den Blick dort hinein verhüllen. Teleskope, die im sichtbaren Licht arbeiten, sind hierfür also nicht geeignet. Röntgenphotonen dagegen haben ein höheres Durchdringungsvermögen – Sie kennen das ja von der Röntgenaufnahme

beim Arzt. Im Röntgenlicht können Sie direkt in das Herz einer Galaxie schauen. Die Überraschung bei NGC 6240 war nun, dass wir hier im Zentrum nicht nur ein, sondern gleich zwei aktive Schwarze Löcher fanden.

AH: Schwarze Löcher sind ja per definitionem unsichtbar. Wie kamen Sie ihnen auf die Spur?

Komossa: Auch über die Röntgenstrahlung! Kurz bevor Materie in einem Schwarzen Loch verschwindet, heizt sie sich stark auf und strahlt dabei im Röntgenbereich ab. Im Zentrum von NGC 6240 fanden wir aber gleich zwei sehr starke Röntgenquellen.

AH: Und das ist so außergewöhnlich?

Komossa: Ja. NGC 6240 ist keine normale Galaxie. Schon auf Bildern im sichtbaren Licht ist ihre ungewöhnliche Struktur gut erkennbar. Sie enthält Bögen und Arme und ist irregulär aufgebaut. Als man schließlich in ihrem Zentrum zwei helle Kerne entdeckte, die übrigens auch mit den Orten der höchsten Röntgenstrahlung übereinstimmen, war klar, dass es sich hier um die Verschmelzung zweier Galaxien – einen »Merger« – handeln musste. NGC 6240 gehört zur Gruppe der ultraleuchtkräftigen Infrarotgalaxien (siehe »Auf der Suche nach kosmischer Wärme«, S. 26, Anm. d. Red.). Da sie eine der nächstgelegenen ist, kann sie besonders gut untersucht werden. In ihrem Zentrum gibt es Unmengen an Gas und Staub: insgesamt zehn Milliarden Sonnenmassen! Zusammen mit ihrer extremen Infrarot- und Röntgenleuchtkraft ist sie daher für einen Eintrag ins galaktische Guiness-Buch der Rekorde prädestiniert.

AH: Wie sieht die weitere Entwicklung von NGC 6240 aus? Was passiert, wenn sich die beiden Schwarzen Löcher in ferner Zukunft einmal vereinigen?

Komossa: Das wird interessant. Die Kerne der beiden ursprünglichen Galaxien bewegen sich weiter aufeinander zu. Auch die beiden Schwarzen Löcher werden in einigen hundert Millionen Jahren miteinander verschmelzen. In der Endphase sollen nach der Allgemeinen Relativitätstheorie so genannte Gravitationswellen freigesetzt werden, die man dann auch nachweisen können müsste. Im Moment entstehen gerade verschiedene neue Detektoren, die in der Lage sein sollen, Gravitationswellen zu entdecken. Weltraumgestützte Experimente wie der für 2011 geplante Lisa-Detektor sollen in Zukunft jene Prozesse untersuchen, die NGC 6240 noch bevorstehen.

AH: Bekommt man von der Endphase der Verschmelzung der beiden Schwarzen Löcher als Beobachter etwas mit?

Komossa: Man wird sicherlich im Röntgenbereich etwas sehen können. Je mehr Materie in die Schwarzen Löcher fällt, umso intensiver wird die Röntgenleuchtkraft des Systems. Das führt irgendwann dazu, dass der Staub, der jetzt noch den direkten Blick auf das Zentrum der Galaxie verhüllt, zerstört wird. Ein Beobachter wird dann einen noch klareren Blick auf das Zentrum haben. Es wird noch heller erscheinen und vielleicht die ganze Galaxie überstrahlen. In der Endphase wird einfallende Materie von dem intensiven Strahlungsdruck einfach wieder nach außen geblasen. Man spricht dann von Winden.

AH: Auch im Zentrum unserer Galaxie vermuten Astronomen ein Schwarzes Loch, das, nach der geringeren Röntgenstrahlung zu urteilen, aber wohl einen viel geringeren Appetit hat. Warum sind manche Schwarze Löcher gefräßiger als andere?

Komossa: Im Wesentlichen liegt es daran, wieviel Materie, wieviel Gas im Zentrum einer Galaxie vorhanden ist, das als »Futter« für das Schwarze Loch dienen kann. Viele Galaxien besitzen keine starken Röntgenquellen in ihrem Kernbereich. Trotzdem könnten dort Schwarze Löcher existieren. Wenn im Zentralbereich einer Galaxie wenig Material vorhanden ist oder dieses vom Schwarzen Loch schon komplett aufgesaugt wurde und kein Nachschub aus den Außenbereichen nachgeliefert wird, ist das Massemonster quasi auf Diät gesetzt.

AH: Was man von den beiden Schwarzen Löchern in NGC 6240 nicht behaupten kann.

Komossa: Nein, gerade beim Verschmelzen zweier Sternsysteme funktioniert der Nachschub ins Zentrum extrem gut. Die dort vorhandenen Schwarzen Löcher brauchen also keinen Hunger zu leiden.

AH: Wie sind Sie zur Röntgenastronomie gekommen?

Komossa: Angefangen habe ich mit der Astrophysik im sichtbaren Licht. Damals brauchte ich die Röntgenastronomie als Input für die theoretischen Modelle und als Hintergrund, um die optischen Spektren zu verstehen. Schließlich reizte mich das Gebiet so sehr, dass ich meine Doktorarbeit am Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik verfasste, wo der Röntgenbereich stark vertreten ist. Und dann bin ich einfach dabeigeblieben.

AH: Im Jahr 2001 erhielten Sie von der Astronomischen Gesellschaft den Ludwig-Biermann-Förderpreis, der talentierte Nachwuchswissenschaftler mit einem Reisestipendium ausstattet. Hat sich durch diese Auszeichnung etwas für Sie geändert?

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

Komossa: Der Preis bietet mir die Möglichkeit, an einem Institut meiner Wahl im Ausland einige Monate zu verbringen. Das ist eine wunderbare Gelegenheit, mit ausländischen Fachkollegen gemeinsame Projekte zu verwirklichen und andere Institute kennen zu lernen.

AH: An welchem Institut würden Sie gerne arbeiten?

Komossa: Weltweit gibt es so viele interessante Zentren der Astrophysik. Das California Institute of Technology zum Beispiel, aber auch das Chandra Science Center würde mich reizen. <<

Das Interview führte **Stephan Fichtner**.

25.–27.4.: 1. Aschberg Frühjahrsteleskoptreffen 2003. Aschberg bei Ascheffel, Schleswig-Holstein. Info: Armin Quante, Tel. (04351) 475830, www.aft-info.de

1.–4.5.: Meeting on Asteroids and Comets in Europe 2003. Costitx auf Mallorca, Spanien. Info: Reiner Stoss, E-Mail: rstoss@hrz1.hrz.tu-darmstadt.de, www.oam.es/oam/mace/intro.htm

2.–4.5.: 10. Tagung der Fachgruppe CCD-Technik (VdS). Sternwarte Kirchheim, Thüringen. Information: Dennis Möller, Tel. (0551) 7974742, home.t-online.de/home/dennismoeller/ccdtagung/index.html

22.4.: »SETI: Science Fact, Not Fiction«. Öffentlicher Vortrag in englischer Sprache von Jill Tarter, Direktorin des SETI Research Institute (»SETI«: Suche nach außerirdischer Intelligenz). Stadthalle Heidelberg, 19.30 Uhr. Info: www.mpg.de/pri03/pri0320.htm

1.–3.5.: 7. Niederösterreichisches Teleskoptreffen. Kleinzell, Niederösterreich. Info: Gabriele Gegenbauer, Tel. +43 (0676) 4238665, E-Mail: gegenbauer.gabriele@utanet.at, www.noe-sternwarte.at

1.–4.5.: Teleskoptreffen Johannismühle. Wildpark Johannismühle bei Baruth südlich Berlin. Info: Teleskopschmiede, Tel. (030) 75652947, E-Mail: teleskopschmiede@web.de, www.teleskopschmiede.de/pages/ttj.html

10.5.: Österreichischer Astronomietag 2003. Verschiedene Veranstaltungen, unter anderem: Öffentlicher Beobachtungsabend in Rechnitz, Burgenland. Info: Burgenländische Amateurastronomen, Tel. +43 (02687) 54159, E-Mail: baa-verein@astronomie.at, www.astronomie.at/burgenland

17.5.: 19. ATT – Astronomiebörse in Essen. Information: Verein für volkstümliche Astronomie Essen, Weberplatz 1, 45127 Essen (gegen DIN-A5-Rückumschlag mit 1,44 € frankiert), www.astronomie.de/att-essen

28.5.–1.6.: Internationales Teleskoptreffen Vogelsberg 2003. Partielle Sonnenfinsternis am 31.5.! Info: Walter Kutschera, Tel. (06645) 8754, www.teleskoptreffen.de

29.5–1.6.: 27. Sonne-Tagung (VdS). Partielle Sonnenfinsternis am 31.5.! Tagungsort Olbers-Gesellschaft, Hochschule Bremen. Info: Olbers-Gesellschaft, Tel. (0421) 5905-4824, E-Mail: info@sonne-tagung.de, www.sonne-tagung.de

1.6.: 2. Westerwälder Tag der Astronomie. Jahnhalle, Nentershausen/Westerwald. Info: Stephan Grün, st.gruen@sternwarte-diez.de, www.sternwarte-diez.de/wta

6.–9.6.: 22. Planeten- und Kometentagung in Violau bei Augsburg (VdS). Information: Wolfgang Meyer, Martinstr. 1, 12167 Berlin, E-Mail: wolfgang.steglitz@gmx.de

14.–15.6.: 6. Kleinplanetentagung (VdS). Volkssternwarte Drebach, Sachsen. Info: Gerhard Lehmann, Tel. (034341) 7590, E-Mail: g.lehmann@abo.freiepresse.de, www.minorplanets.de/tagung2003

19.7.–8.8.: International Astronomical Youth Camp. Klingenthal, Sachsen. Info: Jörg Dietrich, Tel. (089) 32386944, E-Mail: info@iayc.org, www.iayc.org

2.–16.8.: Astronomisches Sommerlager 2003. Hobbach bei Aschaffenburg. Info: Susanne Hoffmann, Tel. (0331) 9792037, E-Mail: susanne@vds-astro-jugend.de, www.vds-astro-jugend.de/sommerlager

VdS: Vereinigung der Sternfreunde e.V., www.vds-astro.de

Der Bodensatz im Weltall

Heavy Metal

Vor Jahren teilte ich mein Arbeitszimmer mit einem Astrophysiker, der die Sterne anhand ihrer Spektren untersuchte. Von ihm lernte ich, dass diese Berufsgruppe fast alle chemischen Elemente »Metalle« nennt. Für sie ist alles Metall, was nicht Wasserstoff oder Helium ist. Da der menschliche Körper kein Helium enthält, zu zehn Prozent aber aus Wasserstoff besteht, war ich für ihn zu neunzig Prozent metallisch. Wenn er mich ansah, schien es mir manchmal, als prüfe er, ob ich schon Rost angesetzt hätte.

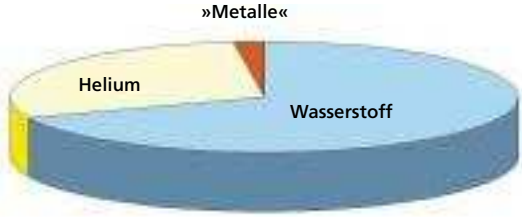
Astrophysiker benutzen den Begriff »Metall« recht eigenwillig. Die Materie des Kosmos – sei sie nun im Innern der Sterne konzentriert oder im Raum zwischen ihnen fein verteilt – besteht fast immer aus der gleichen Mischung chemischer Elemente: 69 Prozent Wasserstoff und 29 Prozent Helium. Die restlichen zwei Prozent teilen sich die anderen Elemente, vom Lithium bis zum Uran, also die »Metalle« der Astrophysiker. Warum aber nennen sie den Sauerstoff und den Schwefel »Metalle«, wo doch jedes Kind in der Schule lernt, dass sie keine sind?

Die Spektren der Sterne sind charakteristisch wie ein Fingerabdruck und geben genaue Auskunft über ihre chemische Zusammensetzung. Ihre verhältnismäßig kühlen äußeren Gashüllen filtern Licht, das für ihre Atome charakteristisch ist, aus der Strahlung heraus, die aus dem Sterninnern kommt. Sie erzeugen so im Spektrum des Sterns dunkle Linien.

Mit ihrer Hilfe ist der Astrophysiker also in der Lage, Sternmaterie aus der Ferne chemisch zu analysieren. Besonders gut sind dabei die Linien des Eisens zu erkennen. Da es überall im gleichen Verhältnis mit den anderen schwereren Elementen vorkommt, sagen seine Linien etwas über die Häufigkeit der anderen »Metalle« aus. Deshalb sprechen die Astrophysiker auch vereinfachend von der Metallhäufigkeit, wenn sie die Häufigkeit aller höheren chemischen Elemente meinen. Diese bilden den Bodensatz, der übrig bleibt, wenn der kosmischen Materie die leichtflüchtigen Gase Wasserstoff und Helium abhanden gekommen sind.

MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON RUDOLF KIPPENHAHN

George Gamow **(1904 – 1968), der Enkel eines zaristischen Generals, glaubte in den 1950er Jahren, alle chemischen Elemente seien kurz nach dem Urknall entstanden.**



»Metalle« machen nur einen kleinen Teil des kosmischen Kuchens aus.

Chemisches Gebräu

Auch der uns am nächsten gelegene Fixstern Proxima Centauri, dessen Licht mehr als vier Jahre zu uns unterwegs ist, besteht aus dem gleichen chemischen Gebräu wie die Sonne. Das gleiche gilt für die Sterne in den fernsten Spiralnebeln, deren Licht uns erst nach Millionen oder Milliarden von Jahren erreicht.

Lediglich die Erde sowie die Planeten Merkur, Venus und Mars bilden in unserem Sonnensystem eine Ausnahme, denn sie enthalten nur wenig Wasserstoff und Helium. Der Grund hierfür liegt in ihrer Entstehungsgeschichte: Als sie sich bildeten, blies ein starker von der Sonne kommender Gasstrom, der so genannte Sonnenwind, diese Elemente in den Raum hinaus – übrig blieb der Bodensatz.

Doch auch die Elemente dieser Planeten folgen einer Gesetzmäßigkeit, die sich überall im Weltraum wiederfindet: Das Mischungsverhältnis der »Metalle« untereinander ist auf der Erde dasselbe wie in der Sonne oder in Meteoriten, die auf die Erde fallen.

Selbst die fernsten Sterne weisen dieselbe Mischung auf. Immer sind unter den »Metallen« Sauerstoff und Kohlenstoff am häufigsten vertreten, gefolgt von Nickel und Stickstoff, Silizium und Magnesium. An siebter Stelle folgt das Eisen, an achter der Schwefel.

Alle chemischen Elemente, die wir von der Erde her kennen, existieren also auch im Weltall. Umgekehrt gibt es dort keine, die wir nicht schon auf der Erde gefunden hätten. Doch warum haben alle Elemente nahezu überall das gleiche Mischungsverhältnis? Der Grund hierfür lautet: Die Materie im Weltraum hatte überall die gleiche Geschichte.

Der in den USA arbeitende russische Physiker George Gamow glaubte in den 1950er Jahren, alle chemischen Elemente seien kurz nach dem Urknall entstanden. Tatsächlich bildeten sich die Atome von Wasserstoff und Helium und wahrscheinlich auch noch Spuren von Lithium nur wenige Minuten nach dem Urknall. Alle anderen Elemente, die uns heute umgeben, entstanden erst sehr viel später im Innern der Sterne. Dort wandelt sich in Fusionsprozessen Wasser-

ALLE VIER FOTOS: ANNUAL REVIEW OF ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS

Die Autoren: **Margret Burbidge (*1919), Geoffrey Burbidge (*1925), William Fowler (1911–1995) und Fred Hoyle (1915– 2001)**

stoff in Helium um und setzt dabei Kernenergie frei. Sie erst lässt die Sterne leuchten, denn diese sind in Wirklichkeit Kernreaktoren, in denen chemische Elemente bis hinauf zum Uran entstehen.

Genau das haben vier Astrophysiker nachgewiesen, das englische Ehepaar Geoffrey und Margret Burbidge, der amerikanische Physiker William Fowler und der Engländer Fred Hoyle, erstmals im Jahre 1957.

Reaktormüll in Sternen

Ihre Veröffentlichung – eine der bedeutendsten astronomischen Leistungen des vergangenen Jahrhunderts – wird nach den Anfangsbuchstaben ihrer Nachnamen auch B2FH (gesprochen: Be-Quadrat-Eff-Ha) genannt. Darin zeigen sie, dass, nachdem der Wasserstoff in den Zentralgebieten der Sterne restlos zu Helium geworden ist, die Heliumkerne schließlich zu Kohlenstoff, Sauerstoff und Neon verschmelzen. Bei weiteren Kernreaktionen entstehen Neutronen, die ungehindert in andere Kerne eindringen und kompliziertere Atomkerne bilden – bis zum Wismutkern, der aus 83 Protonen und 127 Neutronen besteht.

Da die Sterne diese Materie in den interstellaren Raum blasen, reichert sich dieser langsam mit ihrem Reaktormüll an – eben den »Metallen«.

Noch schwerere Atomkerne entstehen in Sternen, die etwa das Zehnfache der Sonnenmasse oder mehr besitzen. In ihnen bildet sich bei Kernreaktionen ein massereicher Eisenkern, der schlagartig in sich zusammenbricht. Dabei werden Neutronen frei, die ein Stück nach außen fliegen, in den Atomen der Gashülle des Sterns aber schließlich stecken bleiben und dort höhere Elemente bilden.

Die in dem »Neutronenblitz« gebildeten Elemente werden anschließend in den Raum hinausgeschleudert und mischen sich dort unter das interstellare Gas. Aus der Menge an »Metallen« in einem Stern kann man also auf dessen Alter schließen: Je jünger, desto metallreicher muss er sein.

Bereits Anfang der 1950er Jahre hatte Gamow in einem Buch folgendes geschrieben: »Man kann die Tabelle mit den Häufigkeiten der verschiedenen Atomsorten als die älteste Chronik des Weltalls ansehen.« Im Jahr 1957 haben die Autoren von B2FH mit ihrer Arbeit die wichtigsten Teile dieser Chronik verstanden und erklärt, wie sich im Laufe von Jahrmilliarden die chemischen Elemente im Kosmos in den beobachteten Häufigkeiten gebildet haben. <<

Kochrezept für Weltraummaterie

> Zutaten: Ein Weltall voller Protonen. Die besten Ergebnisse erhält man bei einer Dichte von etwa einem hundertstel Gramm pro Liter.

> Die Protonen erhitze man drei Minuten lang in der Strahlung des Urknalls auf einige Milliarden Grad. Dabei verschmelzen sie miteinander und wandeln sich zum Teil in Neutronen um. Es entstehen die leichtesten Atomkerne: die verschiedenen Arten des Wasserstoffs, des Heliums und Spuren von Lithium.

> Man lasse das so entstandene Gemisch eine Milliarde Jahre lang abkühlen und forme daraus Sterne von einem Zehntel bis zum Hundertfachen der Masse der Sonne. Ihre Schwerkraft hindert sie am Zerfallen, und sie garen ganz von selbst weiter, da in ihnen Kernprozesse ablaufen und andere chemische Elemente erzeugen. Vor allem wandelt sich Wasserstoff in Helium um. Die massereicheren Sterne ab zehn Sonnenmassen zerplatzen schon nach wenigen Millionen Jahren als Supernovae. Dabei werden im Stern gebildete »Metalle« vom Kohlenstoff bis zum Uran ins All geschleudert. Dort vermischen sie sich mit dem Gas zwischen den Sternen.

> Nach einigen Milliarden Jahren blasen auch die masseärmeren Sterne einen Teil ihrer Materie als Sternwind in den interstellaren Raum und reichern das dort vorhandene Gas mit »Metallen« an. Aus dem mit ihnen verunreinigten Gas forme man nun die Sterne des nächsten Jahrgangs.

> Einige Generationen später rühre man das Gas sorgfältig um und serviere es einem Astrophysiker als Cocktail zur chemischen Analyse.

Rudolf Kippenhahn, Jahrgang 1926, wechselte nach der Promotion in Mathematik zur Theoretischen Astrophysik. Nach Aufenthalten an Sternwarten im In- und Ausland lehrte er zehn Jahre lang an der Universität Göttingen und leitete dann von 1975 bis 1991 das Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching. Seit seiner Pensionierung lebt er als Schriftsteller in Göttingen.

NEUHEITEN

Auf Astro-Messen und im Internet sind die Mitarbeiter von ASTRONOMIE HEUTE stets auf der Suche nach besonderen Highlights. Wir haben einige Produkte für Sie ausgewählt.

Multitalent

Tele-Optic Giro-Mini

Die Tele-Optic-Montierung GR-2 Mini ist stabil, universell verwendbar und dabei preisgünstig. Sie ist für kleine Einsteigergeräte und Ferngläser bis drei Kilogramm ausgelegt und gut zu transportieren. Für Geräte ab 2,5 Kilogramm ist es jedoch ratsam, die optional verfügbare Gegengewichtsstange (10,– €) sowie das Mini-Gegengewicht (25,– €) einzusetzen. In Kürze soll auch eine Go-to-Variante auf den Markt kommen.

Preis: 169,– €
www.tele-optic.de

Kometenhocker

APM-Astrostuhl

Haben Sie es satt, zenitnahe Objekte in der Hocke oder auf den Knien zu beobachten? Dann ist der Astrostuhl von APM etwas für Sie. Die von 20 auf 85 Zentimeter Sitzhöhe stufenlos verstellbaren Stühle sind aus Stahlrahmen gefertigt und mit einer PowderPlastiklackierung beschichtet, die sie vor Rost schützt. Der gepolsterte Kunstledersitz ist wetterfest. Preis: 195,– €

www.apm-telescopes.de

Den Himmel im Rücken

RB-66-Reverse-Binokular

Der neue Doppel-Newton von Intercon Spacetec besteht aus zwei Newton-Spiegeln mit 150 Millimeter Öffnung und 750 Millimeter Brennweite. Zwar ist der Einblick in den doppelten Okularauszug mit dem Rücken zum Himmel etwas gewöhnungsbedürftig, aber man beobachtet in ziemlich entspannter Haltung. Sechs Motoren justieren die beiden Optiken, stellen diese scharf und richten den Augenabstand ein.
Gesamtgewicht: 26 kg; Preis: 4750,– €
www.astro-markt.de

High-End

Celestron CGE 800-1400

Eine neue parallaktische Go-to-Montierung für die komplette SC-Baureihe kommt aus dem Hause Celestron. Eine extreme Tragfähigkeit geht hier einher mit einer guten Transportabilität. Die CGE-Montierung bietet rund um den optischen Tubus viel Freiraum für ausladende Anbauten. Der Preis für die Go-to-Montierung plus Stativ liegt bei 4945,– €. Die Preise inklusive Optik bewegen sich zwischen 5549,– und 10745,– €
www.celestron-nexstar.de

Scharfe Sicht

Fujinon 10×50 FMT-SX

Endlich ist das in der Astronomie so populäre 10×50-Fernglas auch als Fujinon FMT-SX lieferbar. Die sechslinsigen Flatfield-Okulare bieten einen sehr komfortablen Einblick. Fujinon-typisch ist die kontrastreiche Abbildungsqualität, die punktscharfe Sterne bis an den Rand des 65 Grad großen Gesichtsfelds liefert. Das 10×50 FMT-SX erfüllt alle einschlägigen Militärnormen und hält dem Wasserdruck bis fünf Meter Tiefe stand. Ein verschmutztes Glas reinigt man daher am einfachsten unter dem Wasserhahn. Gewicht: 1,4 kg;
Preis: 598,– €
www.astro-markt.de
www.fujinon.de

GLANZLICHTER

Die Schönheit astronomischer Objekte wird nur durch den Erfindungsreichtum der Fotografen übertroffen. Wir laden Sie ein, uns Ihre beste Aufnahme zu schicken und zu berichten, wie Ihnen das Bild geglückt ist, ganz gleich ob Papierabzug, Dia oder Megapixel-Jpeg.

Aurora borealis

Im März 2001 fing eine Nikon FM2 mit einem Sigma-2.8/15-Objektiv dieses Polarlicht in einer 30-s-Belichtung auf einem Fuji-Superia-Film ein. Ort: Stamsund auf den Lofoten, Norwegen.

>> Wolfgang Thomas

Mondsichel

Dieses Bild wurde an einem 10-Zoll-Newton mit einem 2fach-Telekonverter und einer effektiven Brennweite von 6 m aufgenommen.

>> Werner Baumann

M 104 Sombrero

Von Namibia aus zeigt sich die Sombrerogalaxie in dieser Hypergraph-Aufnahme mit 400 mm Öffnung und rund 4,5 m Brennweite.

>> Philipp Keller

M 27 Hantelnebel

Die Aufnahme mit einem Astronomik-H_α-Filter wurde mit einem älteren ST7E-Farbbild von der Volkssternwarte Radebeul kombiniert.

>> Martin Fiedler, Thomas Böhme

Venus-Merkur-Konjunktion

Die Planeten am Spätherbsthimmel 2001, zu sehen am rechten Bildrand in einer 15-s-Belichtung mit einem 50-mm-Objektiv und offener Blende auf Kodak-Elite-Chrome-Select-400-Film.

>> Martin Wagner

M 31 Andromeda

In dieser einstündigen Belichtung sieht man den hellen Kern der Spiralgalaxie. Die Aufnahme entstand am 31.10.1997 an einem 12-Zoll-RC auf Ektar-Pro-Gold-400-GPY-Film.

>> Manfred Späthe

22°-Mondhalo

Zum Einsatz kam hier eine 6×6-Kiev-6C-Kamera mit einem 30-mm-Zodiak-Fisheye und Agfa-Optima-400-Film.

>> Werner Baumann

Wetterleuchten über Stuttgart

Dieses Sommergewitter über dem Fernsehturm der Schwabenmetropole wurde mit einem 35-mm-Objektiv auf einem Kodak-Gold-Zoom-800-Film festgehalten.

>> Martin Wagner

Nordamerikanebel

NGC 7000, eingefangen in einer einstündigen Belichtung auf einem Kodak-EPH-1600 durch ein Vixen-Spektiv-80-S mit einer Öffnung von 80 mm und 400 mm Brennweite.

>> Bernhard Brust

Mondfinsternis

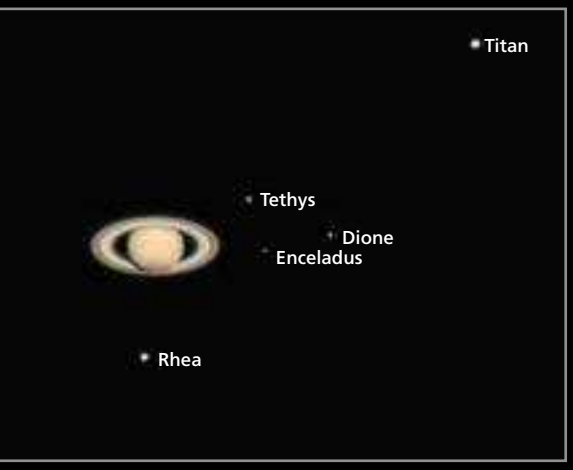
1998 nahm der Fotograf den Mond kurz nach Austritt aus dem Kernschatten in einer 6-s-Belichtung auf einem Agfa-HDC-100-Film auf.

>> Werner Baumann

Effektvoll

Der Fotograf nahm sich und eine blaue LED vor seinem Teleskop auf, einem 10-Zoll-Newton-Selbstbau von Burkhard Kowatsch.

>> Martin Wagner



Saturn und Gefolge

In Photoshop wurden Digitalaufnahmen einer Canon D60 bei f/10 und f/20 zusammenmontiert. Die Monde haben Helligkeiten von 8,4te bis 11,8te Größe.

>> Johannes Schedler

Komet tankt Wasserstoff

Das Komposit vom 21. April 2002 aus einer roten sechs- und einer blau-grünen siebenminütigen Aufnahme zeigt den Kometen C/2002 C1 (Ikeya-Zhang) in der Nähe der H-II-Region IC 1396.

>> Norbert Mrozek

Sonnenenuntergang

Der Feuerball versinkt hinter der Schwäbischen Alb, abgelichtet mit einem 70-mm-Objektiv in Okularprojektion hinter einem 700-mm-Kaufhaus-Newton und Rettungsfolie.

>> Martin Wagner

Jupiters Roter Fleck

Diese Aufnahme vom 16. März 2003 entstand in Sonnenbühl-Genkingen mit einem 10-Zoll-Newton und einem Medion-Mini-DV-Camcorder per Okularprojektion.

Mit der Software »Giotto« wurden von 850 Einzelbildern die besten 25 Prozent addiert und gefiltert. Am rechten Jupiterrand ist der Schatten seines Monds Europa zu sehen.

>> Martin Wagner

Der Mond von Granada

Die Sichel über der Sierra Nevada in dieser 3-Mpix-Weitwinkelaufnahme einer Nikon Coolpix E995 bei Blende 2,6 und einer 1/12-Sekunde.

>> Andreas Merkert

Machen Sie mit: Schicken Sie uns Ihre »Glanzlichter«.
Aus allen Einsendungen wählen wir die schönsten aus und veröffentlichen sie im Heft.

Adresse:
Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH
Redaktion ASTRONOMIE HEUTE • Postfach 104840 • 69038 Heidelberg
E-Mail: ah@spektrum.com

Starter-Kits

Hält die speziell für Einsteiger konzipierte neue LXD55-Teleskop-Serie von Meade, was sie verspricht? ASTRONOMIE HEUTE hat sie getestet.

>> Dennis di Cicco

ALLE PRODUKTFOTOS FOTOGRAFIERT VON CRAIG MICHAEL UTTER / S&T

Mitte letzten Jahres begann die Firma Meade damit, ihre lang erwarteten LXD55-Schmidt-Newton-Teleskope auszuliefern. Die Fernrohre sind Meades neueste Entwicklung im Bereich klassischer Spiegelteleskope und speziell auf die Belange von Einsteigern zugeschnitten.

Gleich vorweg: Die Serie besitzt ein hervorragendes Preis-Leistungsverhältnis, das auf dem Markt seinesgleichen sucht. Einige Leser machten uns darauf aufmerksam, dass die LXD55-Teleskope, zumindest auf dem Papier, viele Ähnlichkeiten mit Meades Flaggschiff, dem LX200, besitzen. Beide basieren auf dem klassischen Schmidt-System und sind mit Montierungen, motorgetriebenen Achsen sowie Autostar-Steuerung ausgestattet. Trotzdem kostet ein LXD55 weniger als die Hälfte dessen, was man für ein LX200-Teleskop vergleichbarer Öffnung auf den Tisch legen muss.

Wer nun aber erwartet, mit einem LXD55 die Leistungsfähigkeit eines LX200 zum Schnäppchenpreis zu bekommen, wird enttäuscht, denn die neue Serie steht nicht gleichwertig neben Meades High-End-Geräten. Trotzdem übertreffen die LXD55-Teleskope die Ansprüche, die viele Beobachter und Astrofotografen stellen.

Den Praxistest der neuen Reihe begannen wir mit einem Acht-Zoll-Teleskop und bestellten etwas später noch einen einzelnen Zehn-Zoll-Tubus, der auf derselben Montierung arbeitet.

Der Zusammenbau der Teleskope geht einfach und schnell. Da die meisten

Auf Grund der vielfältigen Features, die sie Beobachtern und Astrofotografen bietet, hat die LXD55-Serie von Meade ein großes Interesse unter den Amateurastronomen ausgelöst. Wir testeten das 8-Zoll-Modell sowie die 10-Zoll-Variante der neuen Reihe. Außerdem ist eine 6-Zoll-Version erhältlich.

GLOSSAR

Sphärische Aberration: Abweichung eines Teleskopspiegels von der Parabolform. Auf Astroaufnahmen macht sich dieser Fehler als Verzerrung der Sternpunkte in der Nähe des Bildfeldrands bemerkmar.

Komafehler: Optischer Fehler, durch den Sterne am Rand eines Himmelsfelds nicht punktförmig erscheinen. Mit einer Korrektorplatte werden Komafehler weitgehend vermieden.

Ronchi-Test: Verfahren, um die Qualität eines Spiegels zu beurteilen. Damit lassen sich »Zonen« nachweisen, die von der idealen Spiegelform abweichen.

Komponenten werkseitig montiert sind, braucht man kein zusätzliches Werkzeug.

Lediglich das Achsenkreuz der Montierung musste ich per Handschraube mit dem Stativ verbinden. Anschließend brachte ich die Gegengewichtsstange an und stöpselte die Handsteuerbox der Autostar-Go-to-Steuerung sowie die Stromversorgung ein. Das war schon alles. Es ist übrigens sehr hilfreich, eine kleine Tube Schmierfett bereit zu halten, wenn Sie ihr Teleskop zum ersten Mal zusammenbauen. Ein kleiner Klecks davon an der richtigen Stelle wirkt oft Wunder und verhindert nicht nur unnötige Abnutzung, sondern macht auch die Gewinde leichtgängiger. So lässt sich der Handdrehknopf, der das Achsenkreuz auf dem Dreibein hält, ganz leicht, aber trotzdem fest zuschrauben.

Nachhilfe per Kombizange

Der optische Tubus wird bereits komplett montiert geliefert. Die einzige Ausnahme bildet der Sucher, der mit zwei kleinen Rändelschrauben auf dem Tubus befestigt werden muss. Es bereitete mir einige Schwierigkeiten, sie mit der Hand so anzuziehen, dass die Halterung fest am Tubus blieb und nicht jede kleine Erschütterung die Justage des Suchers verstellte. Hier hilft es, die Schrauben mit einer Kombizange eine Umdrehung weiter zu drehen. Dann sitzt der Sucher bombenfest.

Ausführung und Verarbeitung des Teleskops sowie der Montierung sind erstklassig. Es werden kaum Plastikteile verwendet und die meisten aus Metall gefertigten Komponenten sind aus hochwertigem Guss. Alles ist sauber lackiert, auch der Schutzanstrich des Stahltubus. Der Okularauszug ist bis auf die Plastikknöpfe komplett aus Metall.

Die UHTC-Vergütung

(»Ultra High Transmission Coating«) sorgt für eine Steigerung der Lichtdurchlässigkeit des Objektivs um bis zu 20 %.

Als Standardzubehör sind eine Zwei-Zoll- sowie eine Eineinviertel-Zoll-Steckhülse sowie ein T-Ring-Adapter für den Anschluss von Kameras im Lieferumfang enthalten. Der leichtgängige Okularauszug mit einem Fokussierweg von knapp acht Zentimetern wird als Zubehör von einer vier Zentimeter langen Verlängerungshülse ergänzt. Mit dieser Ausstattung erreichte ich fast mit allen Okularen und jeder Kamera den Brennpunkt des Teleskops.

Da die verschiedenen Okularadapter fest auf den Okularauszug geschraubt werden müssen, braucht es Zeit, zwischen Eineinviertel- und Zwei-Zoll-Okularen hin und her zu wechseln. Hier ist es am praktischsten, den Zwei-Zoll-Adapter fest am Teleskop zu belassen und für Eineinviertel-Zoll-Okulare einen Steckadapter zu benutzen.

Die Montierung der Testgeräte arbeitet mit einer Gleichstromspannung von zwölf Volt. Im Lieferumfang ist ein Batteriefach für acht Monozellen enthalten. Da die maximale Stromaufnahme der Montierung bei etwa 1,4 Ampere liegt, sollten Sie – wann immer möglich – das >

Die technischen Daten auf einen Blick

LXD55	8-Zoll	10-Zoll
Effektive Öffnung:	198 mm	248 mm
Zentrale Abschattung:		
Durchmesser:	77 mm	80 mm
Prozent der Öffnung:	39%	32%
Brennweite:	813 mm	1021 mm
Mitgeliefertes Okular:	26-mm-Super-Plössl	26-mm-Super-Plössl
Vergrößerung:	31fach	39fach
Wahres Gesichtsfeld:	94‘	76‘
Feld einer 35-mm-Kamera:	1,7° × 2,5°	1,4° × 2,0°
Gewicht:		
Optischer Tubus:	10,2 kg	13,2 kg
Gegengewichte:	9,1 kg	13,6 kg

Alle LXD55-Schmidt-Newton-Teleskope werden in Deutschland ausschließlich mit UHTC-Vergütung ausgeliefert.
Alle Werte gemessen von Sky & Telescope.

Die Deutsche Montierung:	
Gewicht:	10,9 kg
Betriebsspannung:	12 V Gleichstrom
Stromverbrauch:	
Beim Positionieren:	1,4 A
Beim Nachführen:	140 mA
Positioniergeschwindigkeiten:	
Maximal:	4,5°/ s
Minimal:	15”/ s
Periodischer Fehler:	35”

Preise:
6-Zoll: 1480 €
8-Zoll: 1795 €
10-Zoll: 2195 €
www.meade.de

Die Schmidt-Newton-Teleskope sind alle mit einem 6 × 30-Sucher und einem qualitativ hochwertigen Okularauszug ausgestattet. Außerdem im Lieferumfang: eine aufschraubbare Verlängerungshülse, ein Okularadapter für 1¼-Zoll- und 2-Zoll-Okulare, sowie ein T-Ring-Adapter zum Anschluss von Kameras.

> Zwölf-Volt-Netzteil verwenden. Im »Feldeinsatz« sind Batterien natürlich zweckmäßiger. Der Stromverbrauch der Montierung liegt im Nachführbetrieb bei 140 Milliampere, sodass die Batterien bei normalem Gebrauch und nicht zu kalten Temperaturen einige Nächte durchhalten sollten.

Beobachtern, die bereits Erfahrungen mit einer Deutschen Montierung und mit der Autostar-Steuerung von Meade gesammelt haben, wird die Bedienung des Teleskops leicht fallen. Ich vermute aber, dass das LXD55 für viele Amateure ihr erstes »richtiges« Fernrohr sein wird. Anfänger könnte der Umgang mit der Deutschen Montierung und den Feinheiten der Autostar-Go-to-Steuerung zunächst etwas überfordern. Zwar sind all diese Dinge in der Betriebsanleitung bis ins Detail beschrieben, doch ich möchte wetten, nur die wenigsten werden diese vollständig studiert haben, wenn sie mit ihrem Teleskop zum ersten Mal rausgehen. Vieles wird also erst nach der einen oder anderen Beobachtungssession verständlich werden.

Einsteigern empfehle ich daher Folgendes: Orientieren Sie sich zuerst einmal grob an der Betriebsanleitung. Machen Sie sich nicht zu viele Gedanken über die Details der Autostar-Steuerung. Die grundlegenden Funktionen sind auf den Seiten acht bis elf der deutschen Gebrauchsanweisung zusammengefasst. Und das ist mehr als genug Material für Ihre erste Nacht! Bauen Sie das Teleskop zunächst einmal bei Tageslicht zusammen und machen Sie sich mit den Einzelteilen vertraut.

Die einzige Justierung, die Sie zu diesem Zeitpunkt vornehmen müssen, ist die Einstellung der Polhöhe. Verwenden Sie hierzu die Skala unten am Achsenkreuz und stellen Sie dort die geografische Breite ihres Standorts zuerst grob ein (beispielsweise 48,1 Grad für München). An Ihrem Beobachtungsplatz drehen Sie dann das obere Ende der Polachse (die Rektaszensionsachse) nach Norden. Hierzu muss beim Aufstellen des Stativs darauf geachtet werden, dass das Bein mit dem Sternsymbol nach Norden zeigt, damit die Montierung korrekt aufsitzen kann.

Nach dem Einschalten beginnt die Autostar-Steuerung automatisch mit der Selbstinitialisierung. Auf dem Display erscheint zuerst ein Warnhinweis zur Sonnenbeobachtung sowie die allgemeine Startanzeige. Anschließend werden Sie nach dem Datum, der Zeit und Ihrem Beobachtungsstandort gefragt, der aus einer umfangreichen Datenbank ausgewählt werden kann. Dies ist die einzige Information, die sich die Steuerung nach dem Ausschalten merkt. Es ist daher wichtig, den Ort korrekt einzugeben. Die anderen Einstellungen sollten Sie erst einmal so belassen wie sie sind, auch wenn dies auf den ersten Blick etwas verwirrend erscheint.

Nachführen im Handumdrehen

Als nächstes verlangt die Autostar-Steuerung die Eingabe der gewünschten Nachführmethode. Drücken Sie die »Mode«-Taste um die Eingabemöglichkeit zu beenden. Das Teleskop befindet sich jetzt in der für Erdbeobachtungen geeigneten Betriebsart. Das bedeutet, dass Sie das Gerät mit den Steuertasten in alle Richtungen bewegen können, während der Motor, mit dem das Teleskop den Himmelsobjekten kontinuierlich nachgeführt wird, deaktiviert ist. Um die Nachführung zu aktivieren, betätigen Sie die »Blättern«-Taste so oft, bis das »Ziele«-Menü erscheint. Dort stellen Sie die Nachführmethode von »terrestrisch« auf »astronomisch« um. Der ganze Prozess benötigt übrigens nur einen Bruchteil der Zeit, die Sie gerade mit dem Lesen dieser Beschreibung verbracht haben.

Nun können Sie mit dem Beobachten beginnen. Die eingestellten Objekte bleiben mit der Motornachführung trotz der recht groben Einstellung der Polachse viele Minuten lang im Okular. Zusätzlich lässt sich die Position des Teleskops mit den Tasten der Handsteuerbox korrigieren. Außerdem können Sie das Gerät auch per Hand auf Objekte ausrichten, indem Sie die Klemmen der Montierung lockern. Das Teleskop lässt sich nun leicht in beiden Achsen bewegen. Für kurze Beobachtungen des Mondes, der Planeten oder ausgesuchter Deep-Sky-Objekte verwende ich diese schnelle und unkompli-

Die Abbildungsqualität eines Teleskops hängt stark von der exakten Justierung seiner Optik ab. Die kompakte Bauweise des Tubus und die Rändelschrauben am Hauptspiegel machen das Einstellen denkbar einfach. Der Hauptspiegel besitzt ab Werk eine Mittenmarkierung, die die Justierarbeiten erleichtert.

Derzeit sind neben den 6-, 8-, und 10-Zoll-Schmidt-Newton-Spiegelteleskopen auch 5- und 6-Zoll-Linsenteleskope sowie ein 8-Zoll-Schmidt-Cassegrain-Fernrohr erhältlich. Alle Modelle sind mit Motoren für beide Achsen und einer Autostar-Steuerung ausgestattet. Stativ, Montierung und Gewichte bringen zusammen etwa 11 kg auf die Waage. Die Schwingungsdämpfer von Meade (oben Mitte) reduzieren die Ausschwingzeit des Teleskops deutlich – eine Investition, die sich vor allem beim 10-Zoll-Modell lohnt. Der Tubus wird ähnlich wie bei der GP-DX-Montierung von Vixen mit einer Schwalbenschwanzkupplung (oben rechts) auf der Montierung befestigt. Sitzt die große Befestigungsschraube aus Versehen nicht ganz fest, sichert eine Rändelschraube neben dem Handknopf den Tubus.

zierte Methode sehr oft. Die einzige Hauptfunktion der Autostar-Steuerung, die bei dieser Technik nicht benutzt wird, ist die automatische Positionierung des Teleskops. Diese können sich aber gerade Einsteiger auch für einen späteren Zeitpunkt aufheben.

Obwohl Meade und auch Celestron schon früher Schmidt-Newton-Teleskope auf den Markt gebracht haben, ist dieses optische Design nicht sehr bekannt. Die neuen Geräte von Meade sind »schnelle« (kurzbrennweitige) Newton-Teleskope mit einem sphärischen Hauptspiegel und einer so genannten Schmidtplatte an der Vorderseite des Tubus, um die für diese Optik typische sphärische Aberration (siehe Glossar Seite 74) zu korrigieren. Mit der Korrektorplatte nahe am Brennpunkt des Hauptspiegels werden Komafehler (siehe Glossar) am Rand des Gesichtsfelds weitgehend eliminiert und man erhält gute »Weitwinkel«-Aufnahmen. Allerdings gibt es nur eine Hand voll moderner, hoch entwickelter Okulare, die für dieses Öffnungsverhältnis geeignet sind und eine gute Abbildungsqualität liefern. Daher ist es wahrscheinlich, dass bei diesem Fernrohrtyp die Qualität der Okulare letztlich ausschlaggebend ist. Wir überprüften diese These, indem wir die Abbildungsqualität des LXD55-Acht-Zoll-f/4-Schmidt-Newton mit dem Acht-Zoll-f/4-Newton meines Kollegen Gary Seronik verglichen. Beide Abbildungen zeigten keine Unterschiede beim Einsatz des mitgelieferten 26-Millimeter-Super-Plössl-Okulars, das ein Gesichtsfeld von 52 Grad besitzt. Gary und ich fanden heraus, dass die Aberration im äußeren Drittel des Gesichtsfelds schon erkenn- >

Auch wenn die Go-to-Steuerung bei fehlerhafter Einnordung halbwegs gut funktioniert, schöpft man ihre volle Genauigkeit nur bei exakter Ausrichtung der Montierung aus. Hier hilft der beleuchtete Polsucher, der allerdings sehr hell und nicht dimmbar ist (kleines Foto).

Digitalkameras haben die Mond- und Planetenfotografie revolutioniert. Dieses Bild des Mondkraters Clavius wurde am 20. Juni 2002 mit einer Nikon Coolpix 900 in Kombination mit einem 5-mm-Radian-Okular und dem 8-Zoll-Modell der LXD55-Serie aufgenommen.

DENNIS DI CICCO

DENNIS DI CICCO

> bar ist und bei Sternen am Rand sehr auffällig wird.

Da der Sekundärspiegel auf der Innenseite der Schmidtplatte und nicht an einer Fangspiegelspinne angebracht ist, sind die sonst von Newton-Systemen her bekannten »Spikes« rund um helle Sterne oder Planeten nicht vorhanden. Andererseits haben Korrektorplatten aber den Nachteil, dass sie bei feuchter Witterung schnell beschlagen. Mein Tipp: Jeder Beobachter sollte sich eine beheizbare Taukappe zulegen.

Der so genannte Ronchi-Test (siehe Glossar) beweist, dass beide Spiegel eine äußerst glatte Oberfläche besitzen. Wie bei allen Reflektoren kurzer Brennweite ist auch beim LXD55 die Abbildungsqualität sehr stark von der richtigen Justierung der Optik abhängig.

Beide Teleskope waren werkseitig fast perfekt eingestellt. Darüber hinaus enthält die Bedienungsanleitung eine detaillierte Beschreibung, wie die Justierung der Fernrohre überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden kann (siehe S. 80).

Diese Korrekturen beschränken sich dabei normalerweise auf die exakte Einstellung des Hauptspiegels und werden mit den drei Zug- und Druckschrauben an dessen Fassung ausgeführt. Die kompakte Bauweise der Teleskope gestattet es, die Schrauben zu drehen, während man durch das Okular schaut. Das macht die Justierung der Optik relativ einfach.

Wie alle Spiegelteleskope mit einer relativ großen zentralen Abschattung sind auch diese Schmidt-Newton-Teleskope für hochvergrößernde Planeten- oder Doppelstern-Darstellungen nicht besonders gut geeignet. Dennoch zeigten beide Geräte sehr zufriedenstellende Bilder von Venus, Saturn und Mond. Die Stärke der Fernrohre liegt aber vor allem in der Deep-Sky-Beobachtung bei niedrigen und mittleren Vergrößerungen.

Hochtouriger Pfundskerl

Wie bereits eingangs erwähnt, ist die Montierung der LXD55-Teleskope sehr robust und macht einen guten Eindruck. Auch bei voller Beladung mit dem Zehn-Zöller und den dazugehörigen Gegengewichten, die zusammen 27 Kilogramm auf die Waage bringen, bewegt sie sich noch ohne Schwierigkeiten mit der Maximalgeschwindigkeit. Die Montierung verfügt über neun verschiedene Geschwindigkeitsstufen, von denen die schnellste das Teleskop mit 4,5 Grad pro Sekunde dreht. Dabei geben die Motoren allerdings recht laute Surrgeräusche von sich. In den langsameren Gangarten ist das Geräusch dann jedoch deutlich leiser.

Für das Gewicht des Acht-Zoll-Teleskops ist die Montierung ausreichend gut ausgelegt. So beträgt die Ausschwingzeit des Tubus hier weniger als fünf Sekunden. Es ist klar, dass die leichtere Sechs-Zoll-Variante des Geräts noch stabiler ist. Das Gewicht des Zehn-Zoll-Modells liegt dagegen bereits am oberen Limit der Montierung. Die Ausschwingzeit beträgt hier sechs bis sieben Sekunden. Ich empfehle jedem, der mit der Zehn-Zoll Variante liebäugelt, sich zusätzlich die Vibrationsdämpfer zuzulegen, die Meade für seine Stative anbietet. Sie reduzieren die Ausschwingzeit bei jedem Modell um mindestens zwei Sekunden. Besonders wirksam sind sie gegen das langanhaltende leichte Zittern des Teleskops.

Das vielleicht beste Feature der neuen Fernrohr-Serie ist ihre Go-to-Steuerung. Durch einfaches Drücken einiger weniger Tasten der Handsteuerbox fährt das Teleskop automatisch Mond, Planeten sowie Tausende von Sternen und Deep-Sky-Objekten an, die in der internen Datenbank gespeichert sind. Bereits in früheren Tests erhielt die Autostar-Steuerung hierfür sehr gute Noten und es gibt keinen Grund, von dieser Bewertung abzurücken. Ein paar Anmerkungen zum Zusammenspiel der Autostar-Steuerung mit der Montierung der LXD55-Teleskope erscheinen jedoch angebracht: Um die höchstmögliche Genauigkeit beim automatischen Einstellen der Objekte zu erreichen, sollte die optische Achse des Teleskops mit den Achsen der Montierung möglichst perfekt übereinstimmen.

Die vielseitigen LXD55-Schmidt-Newton-Teleskope von Meade:

Was uns gut gefiel:

> Qualitativ hochwertige Metallausführung und gute Verarbeitung
> Vielseitiges optisches System mit Okularauszug und Zubehör für visuelle Beobachtung und Fotografie
> Autostar-Go-to-Steuerung

Was uns weniger gut gefiel:

> Der Sucher lässt sich nur schlecht mit den Rändelschrauben befestigen
> Bei Langzeitbelichtungen stößt die Montierung beim 10-Zoll-Modell an die Grenze ihrer Tragfähigkeit

Diese beiden Plejaden-Aufnahmen wurden jeweils zwei Minuten belichtet. Dabei kam ein Fujichrome Provia 400F zum Einsatz, der auf 800 ASA »gepusht« wurde. Das linke Bild entstand mit der 8-Zoll-, das rechte mit der 10-Zoll-Optik. Obwohl der Komafehler die Sterne am Rand in die Länge zieht, sind die Sternabbildungen um etwa 40 % kleiner als bei einer klassischen Newton-Optik. Erst nach der Belichtung fiel uns leichter Tau auf der Schmidtplatte des 8-Zöllers auf. Dies führte dazu, dass dort einige Reflexionsnebel vom Tau verschluckt werden, die im Bild des 10-Zöllers zu sehen sind.

In der Bedienungsanleitung ist der genaue Abgleich im Detail erklärt. Die Steuerung arbeitet dann am besten, wenn die Montierung genau auf den Himmelsnordpol ausgerichtet ist. Hierzu ist in der Polachse ein beleuchteter Sucher eingebaut, der die Einstellung deutlich vereinfacht. Was nicht in der Bedienungsanleitung steht: Auch der Polsucher ist komplett justierbar, was all jene schätzen werden, die äußerst genaue Einstellungen brauchen – wie zum Beispiel Astrofotografen.

Unsere Tests ergaben, dass die Autostar-Steuerung es durchaus auch einmal nachsieht, wenn die Polausrichtung der Montierung nicht optimal ist. In einer Nacht verstellte ich die Polachse absichtlich um mehr als 15 Grad. Dann startete ich die Autostar-Steuerung und ging die normale Startprozedur durch. Schließlich führte ich die »Zwei-Sterne-Initialisierung« Schritt für Schritt durch, indem ich den Anweisungen auf dem Display der Handsteuerbox folgte. Auch jetzt ließ sich die Go-to-Steuerung des Teleskops nicht beirren und stellte die Objekte trotz der absichtlich herbeigeführten Abweichung der Montierung richtig ein.

Die Nachführung war in diesem Fall allerdings beeinträchtigt, sodass die eingestellten Objekte nur für wenige Minuten im Gesichtsfeld blieben. Die wiederholte Ausführung des Go-to-Befehls brachte sie aber sofort in die Mitte des Gesichtsfelds zurück. Die Autostar-Steuerung warnt den Benutzer auch automatisch, wenn ein Befehl ein Anstoßen des Tubus an die Montierung oder das Stativ verursachen würde. Ein weiterer Pluspunkt ist die Suchfunktion: Sollte ein Objekt einmal nicht im Okular auftauchen, so beginnt das Fernrohr beim erneuten Drücken der Go-to-Taste mit spiralförmigen Suchbewegungen. Diese beginnen im Zentrum des eingestellten Himmelsausschnitts. Taucht das Ziel im Gesichtsfeld des Okulars auf, muss die Go-to-Taste nur ein weiteres Mal gedrückt werden, um den Vorgang abzubrechen.

Schnappschüsse in kosmischer Nachbarschaft

Die neuen Geräte der LXD55-Serie eignen sich hervorragend für kurzbelichtete Aufnahmen von Mond und Planeten. Vor allem dann, wenn eine moderne Digitalkamera zum Einsatz kommt. Die Optik ist durch ihre geringe Brennweite für die hochvergrößernde Aufnahme von Planeten allerdings nicht allererste Wahl.

Bei Langzeitbelichtungen von Deep-Sky-Objekten entscheidet dagegen vor allem die Qualität der Montierung. In der Tat besitzt die LXD55-Serie hier einen etwas größeren periodischen Fehler als die GP-DX-Montierung von Vixen, die unter Astrofotografen einen guten Ruf genießt. Bei der Laufruhe und den manuellen Korrektureigenschaften bemerkte ich zwischen beiden Montierungen jedoch keinen Unterschied. Man sollte sich hierbei aber in Erinnerung rufen, dass allein die Montierung des GP-DX schon etwa um ein Drittel teurer ist als ein komplettes Zehn-Zoll-Teleskop der LXD55-Serie. Beide Geräte sind jedoch nicht zu den gängigen Autoguidern »plug and play«-kompatibel. Allerdings sind nicht alle guten Deep-Sky-Bilder nur das Ergebnis von langen Belichtungen. Mit CCD-Kameras kann man erstklassige Aufnahmen machen, indem man viele kurzbelichtete Einzelaufnahmen am Computer zusammenfügt.

Meine Testaufnahmen mit einem gut justierten und eingenordeten Acht-Zoll-Teleskop zeigen bereits bei einer Belichtungszeit von dreißig Sekunden schöne runde Sternscheibchen. Auch bei der Hälfte der Sechzig-Sekunden-Belichtungen waren die Sterne noch rund. Die Ergebnisse mit dem schwereren Zehn-Zoll-Teleskop auf der gleichen Montierung waren – Windstille vorausgesetzt – ebenso gut. Doch schon eine leichte Brise verursachte hier längliche Sternabbildungen. Die LXD55-Serie hat zwar durchaus ihre Stärken, ist aber für die Astrofotografie nicht ganz so ideal wie die LX200-Teleskope.

Lange wurde behauptet, Reflektoren mit mehr als sechs Zoll Öffnung seien nur für fortgeschrittene Beobachter. Obwohl diese neuen LXD55-Schmidt-Newton-Fernrohre von Meade in dieser Teleskopklasse die Einsteiger-Instrumente darstellen, sind sie mit Funktionen und Eigenschaften ausgestattet, die sonst nur bei deutlich teureren Geräten zu finden sind. Im heutigen Teleskopmarkt stellen diese durch und durch hochwertigen Fernrohre eine prima Alternative dar. <<

Dennis Di Cicco ist Redakteur bei Sky & Telescope und für seine herausragenden Astrofotos bekannt.

Spiegel-Justage

Die korrekte Einstellung eines Newton-Teleskops ist weder ein geheimnisvoller noch ein Zeit raubender Vorgang. Hier eine Anleitung, die in drei Schritten zum Erfolg führt.

>> Nils Olof Carlin

Stellen Sie sich vor, Sie haben eine gute Gitarre mit einem tollen Klang gekauft und sind dabei, das Instrument zu lernen. Nach einiger Zeit stellen Sie fest, dass es verstimmt ist. Was tun? Lernen, es zu stimmen, oder es lieber gegen ein Klavier eintauschen?

Auch ihr Newton-Teleskop liefert im Grunde ohne Ihr Zutun eine sehr gutes Bild. Das gilt jedoch nur so lange, wie es perfekt »gestimmt« ist. Das Stimmen eines Fernrohrs nennt man Kollimation. Vielleicht haben Sie von Freunden gehört, dass dieser Prozess kaum begreifbar, anstrengend, Zeit raubend und nervig sein soll und dass man am besten die Finger davon lässt.

Ich hoffe, dass es mir mit diesem Artikel gelingt, Sie vom Gegenteil zu überzeugen. Denn mit etwas Übung und ein oder zwei Minuten Zeitaufwand schaffen auch Sie es, dass Ihr Teleskop Sterne perfekt abbildet.

Falls Sie mit den optischen Bestandteilen Ihres Teleskops noch nicht vertraut sind, stelle ich Ihnen hier die verschiedenen zu justierenden Komponenten vor:

Der Hauptspiegel ist der große, parabolisch geschliffene Spiegel am hinteren Ende des Fernrohrtubus. Seine mit Aluminium bedampfte Oberfläche reflektiert das einfallende Licht und formt im Brennpunkt des Teleskops ein Bild. Wichtig für das Verständnis ist, dass es eine Symmetrieachse gibt – die optische Achse. Um diese Achse herum existiert im Brennpunkt ein Bereich, in dem die Abbildungsqualität von Sternen und Planeten ein Optimum erreicht – der so genannte komafreie Bereich.

Jenseits dieser Zone verschlechtert eine optische Verzerrung – »Koma« genannt – zunehmend das Bild. Sterne sehen asymmetrisch aus, selbst wenn das Fernrohr perfekt scharf gestellt ist. Dieser Effekt wird um so schlimmer, je weiter ein Stern von der Bildmitte entfernt ist (siehe Kasten). Insbesondere bei der Planetenbeobachtung können feinste Details dann nicht mehr wahrgenommen werden.

Die Größe des komafreien Bereichs ist nicht vom Durchmesser des Hauptspiegels abhängig, sondern von dessen Blendenverhältnis (dem Quotienten aus Brennweite und Durchmesser). So liefert selbst ein perfekt geschliffener Spiegel mit dem Öffnungsverhältnis f/4,5 unabhängig von seiner Größe lediglich in einem Umkreis von zwei Millimetern um die Brennebene herum ein »beugungsbegrenztes Bild«.

Der Hauptspiegel befindet sich in einer justierbaren Zelle. Durch Drehen an den Justierschrauben der Spiegelzelle kann die Neigung des Hauptspiegels in kleinsten Schritten verändert werden. So ist es möglich, die Lage des komafreien Gebiets genau an die richtige Stelle zu bringen. Da dieser »gute« Bereich sehr klein sein kann, stellt dieser Prozess den bei weitem schwierigsten Schritt der Justierung dar.

Um die Kollimation zu erleichtern, sollten Sie das Zentrum des Hauptspiegels markieren (siehe Fotos Seite 82/83 unten). Sehr gut eignet sich ein kreisförmiges Stück schwarzes Isolierband. Solange die Markierung unter dem Durchmesser des Sekundärspiegels (Fangspiegel) bleibt, wird die Abbildungsleistung Ihres Fernrohrs davon nicht beeinträchtigt. Falls Sie einen Laser-Kollimator verwenden wollen, sollten Sie ein Loch ins Zentrum der Markierung stanzen.

Der Fangspiegel ist ein kleiner, ebener Spiegel, der das vom Hauptspiegel geformte Bild seitlich aus dem Fernrohrtubus hinausleitet, wo es mithilfe eines Okulars betrachtet werden kann. Damit diese Störungen nicht zu Buche schlagen, ist der Durchmesser des Fangspiegels gerade so groß, dass nur der

Komafehler

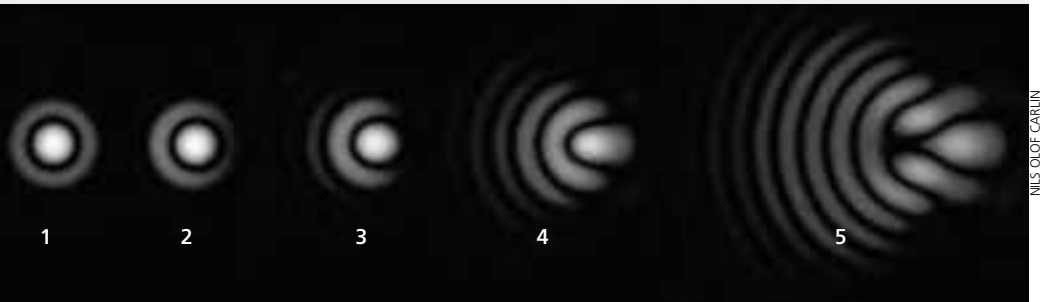
Die als »Koma« bekannte Verzerrung ist der Feind Nummer eins für Newton-Teleskope. Selbst perfekt geschliffene Spiegel leiden darunter. Von links nach rechts ist ein künstlicher Stern (das heißt eine Punktlichtquelle) in folgenden Konfigurationen abgebildet:

> ein Stern im Zentrum des Bildes (1), die Abbildung ist komafrei

> auf halber Strecke zum Rand des komafreien Bereichs (2), die Koma ist für das menschliche Auge noch nicht wahrnehmbar

> genau am Rande des komafreien Bereichs (3), die Koma beginnt sichtbar zu werden

> ein Punkt beim doppelten (4) bzw. vierfachen (5) Radius des komafreien Bereichs



NILS OLOF CARLIN

Einer der am häufigsten genannten Nachteile von Newton-Spiegeln sind die bei ihnen regelmäßig anfallenden Justierarbeiten.

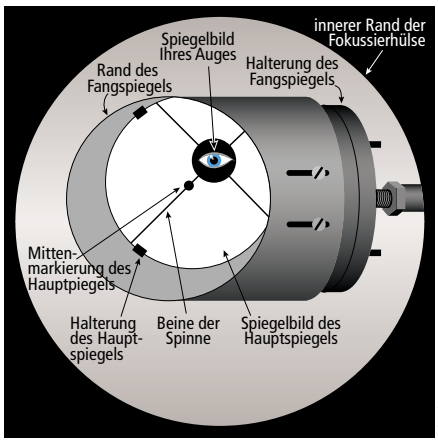
ALLE FOTOS: CRAIG MICHAEL UTTER / S&T

zentrale Bereich des Hauptspiegels ausgeleuchtet wird. Um diesen Bereich im Okular zu zentrieren, muss der Fangspiegel richtig positioniert werden. Er steckt in einer justierbaren Halterung, die von einer so genannten Spinne (meistens ein aus dünnem Metallblech gefertigtes Kreuz) gehalten wird.

Das Okular ist die dritte optische Komponente eines Newton-Teleskops. Hierbei handelt es sich um eine aus mehreren Linsen aufgebaute Lupe, mit der das in der Brennebene geformte Bild vom Beobachter betrachtet wird. Genau wie der Hauptspiegel besitzt auch das Okular eine optische Achse, die exakt auf das Zentrum des Hauptspiegels ausgerichtet sein sollte, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Beim Justieren benutzen wir hierfür jedoch die zentrale Längsachse des Okularauszuges. Ein gutes Okular liefert eine scharfe Darstellung im zentralen Teil des Bildfelds – dem komafreien Bereich. Am Rand bildet jedoch selbst das beste und teuerste Okular kein perfektes Bild mehr ab. Aus diesem Grund ist es ungemein wichtig, dass die komafreien Bereiche von Hauptspiegel und Okular zur Deckung gebracht werden.

Schauen Sie nun durch den leeren Okularauszug und versuchen Sie, die oben beschriebenen Komponenten zu identifizieren. Dies machen Sie beim ersten Mal am besten bei Tageslicht, indem Sie das Teleskop an die Zimmerdecke oder gen Himmel richten. Hierbei sollten Sie auf jeden Fall darauf achten, dass Sie nicht aus Versehen die Sonne im Blickfeld haben. Die Skizze unten zeigt Ihnen, was Sie sehen sollten: den Fangspiegel in seiner Halterung, dessen in Wahrheit elliptisch geformte, ebene Oberfläche um 45 Grad gekippt ist und deswegen kreisförmig erscheint. Im Zentrum des im Hauptspiegel reflektierten Bilds sieht man die kreisförmige, dunkel erscheinende Hülse des Okularauszugs sowie das eigene Auge. Natürlich ist gleichzeitig auch der im Fangspiegel reflektierte Hauptspiegel zu sehen.

Bevor Sie sich an die Justierung machen, identifizieren Sie bitte die verschiedenen Komponenten Ihres Spiegels im Okularauszug. Wegen der vielen Reflexionsbilder erscheint dieses zunächst schwieriger, als es in Wirklichkeit ist.



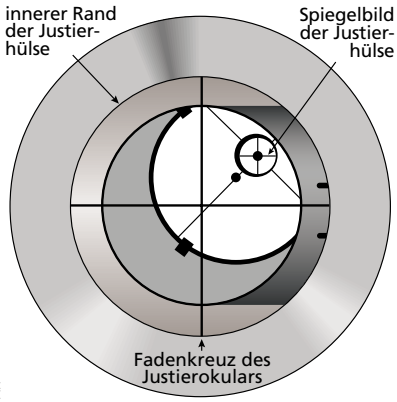
S&T / AH

Drei Schritte zum Erfolg

Um eine optimale Justierung des Spiegels zu erreichen, sind folgende drei Schritte notwendig:

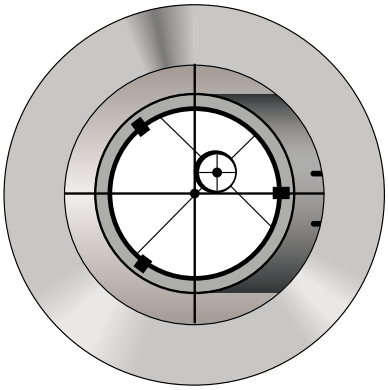
1. Schritt: Zentrieren Sie den Fangspiegel auf die Längsachse des Okularauszugs, das heißt, betätigen Sie die Justierschrauben der Spinne so lange, bis die kreisförmige Silhouette des Fangspiegels konzentrisch im Okularauszug liegt.

2. Schritt: Richten Sie dann das Okular (die Längsachse des Okularauszugs) auf das Zentrum des Hauptspiegels aus, das >

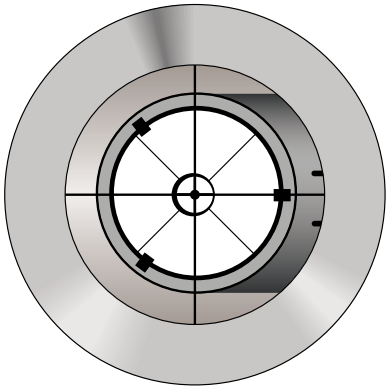


S&T / AH

zentrierter Fangspiegel



korrekt justierter Fangspiegel



korrekt justierter Hauptspiegel

> heißt, betätigen Sie die Justierschrauben der Fangspiegelhalterung so lange, bis das Bild des Hauptspiegels konzentrisch im Bild des Fangspiegels liegt.

3. Schritt: Bringen Sie schließlich die komafreien Bereiche von Hauptspiegel und Okular zur Deckung, das heißt, betätigen Sie die Justierschrauben des Hauptspiegels so lange, bis dessen Zentrum (markiert durch einen schwarzen Punkt) mit der Mitte des Gesichtsfelds (idealerweise durch ein Fadenkreuz markiert) übereinstimmt.

Meistens muss nur der letzte dieser drei Schritte regelmäßig wiederholt werden. Die beiden ersten sind »beständiger« – eine Nachjustage ist hier also nur selten notwendig.

Jetzt geht's ans Eingemachte

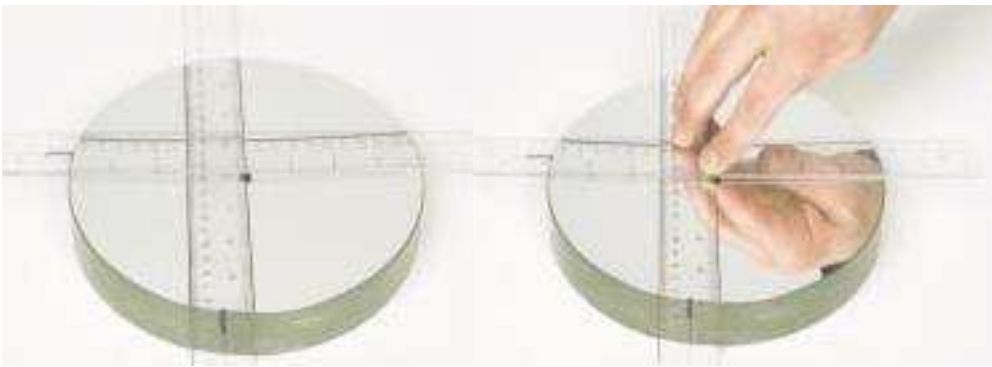
In den folgenden Passagen erkläre ich Ihnen die drei Schritte zur Spiegeljustierung noch einmal ausführlich:

Schritt 1: Zunächst sollte die Längsachse des Okularauszugs mit der Mitte des Fangspiegels übereinstimmen. Das einfachste und beste Instrument hierfür ist eine so genannte Justierhülse. Man schiebt diese, genau wie ein Okular, in den Okularauszug und schaut durch ein kleines Loch in der Justierhülse auf den Fangspiegel. Sollte dieser stark dejustiert sein, so kippen oder drehen Sie ihn so lange, bis das Bild des kleinen schwarzen Flecks, den Sie im Zentrum des Hauptspiegels aufgeklebt haben, ungefähr in der Mitte der Justierhülse zu liegen kommt. Oft ist es schwierig, den Rand des Fangspiegels vom reflektierten Rand des Hauptspiegels zu unterscheiden. Hier ist es hilfreich, zwischen Fang- und Hauptspiegel ein Stück weiße Pappe (siehe Abbildung auf gegenüberliegender Seite) anzubringen.

Der eigentlich elliptisch geformte Fangspiegel sollte in der kreisförmigen Öffnung der Justierhülse nun rund und konzentrisch erscheinen. Ist das der Fall, so haben Sie den ersten Schritt erfolgreich absolviert. Wenn nicht, so muss die Fangspiegelhalterung oder der Okularauszug erneut justiert werden. Versuchen Sie es zunächst mit der Fangspiegelhalterung: Normalerweise kann diese auf den Hauptspiegel zu oder davon weg bewegt werden, indem man an der zentralen Schraube dreht, die diese mit der Spinne verbindet. Falls die Abweichung nicht entlang der optischen Achse des Hauptspiegels, sondern um neunzig Grad versetzt auftritt, überprüfen Sie bitte, ob die Fangspiegelhalterung innerhalb des Teleskoptubus mittig sitzt. Falls nicht, drehen Sie einfach so lange an den Justierschrauben der Spinne, bis diese Abweichung verschwindet. Bleibt nach all diesen Justierarbeiten immer noch eine Diskrepanz, so liegt der Grund darin, dass der Okularauszug nicht im richtigen Winkel am Fernrohrtubus befestigt ist. Dessen Neigung können Sie aber mithilfe von dünnen Plättchen verändern, die Sie zwischen der Befestigungsplatte und dem Teleskoptubus anbringen.

In drei Schritten zum perfekt justierten Spiegel. Mit den obigen Abbildungen finden Sie sich auch im Innern Ihres Teleskops zurecht.

Schritt 2: Hier geht es darum, die Längsachse des Okularauszugs (die optische Achse des Okulars) mit der des Hauptspiegels zur Deckung zu bringen, also auf dessen Zentrum auszurichten. Dies erreicht man, indem man die Stellung des Fangspiegels durch Drehen der Rotationsachse so lange verändert, bis das reflektierte Bild des Hauptspiegels konzentrisch im runden Bild des Fangspiegels auftaucht. Entfernen Sie hierfür zunächst die weiße Pappe zwischen Fang- und Hauptspiegel. Drehen Sie dann vorsichtig an den Schrauben der Halterung, durch die der Fangspiegel gekippt und gedreht wird, bis das reflektierte Bild des Hauptspiegels in der Mitte



So markieren Sie die Mitte des Hauptspiegels: Befestigen Sie einen kleinen Punkt aus schwarzem Isolierband an der Unterseite von zwei durchsichtigen Linealen. Nachdem Sie die Mitte des Hauptspiegels bestimmt haben, drücken Sie diese vorsichtig nach unten und fixieren Sie damit den Klebepunkt auf der Spiegeloberfläche.

des kreisförmigen Okularfelds auftaucht. Falls die verwendete Justierhülse ein eingebautes Fadenkreuz besitzt, so bringen Sie die zentrale Markierung des Hauptspiegels in dessen Mitte. Andernfalls zentrieren Sie den äußeren Rand des Hauptspiegels im Gesichtsfeld der Röhre. Vergewissern Sie sich bitte, dass die Justierhülse so weit eingeschoben ist, dass ein ausreichend großes Gesichtsfeld vorhanden ist, um den gesamten Hauptspiegel überblicken zu können. Für diesen Schritt ist ein Laser-Kollimator ein ideales Instrument: Bringen Sie einfach den Laserstrahl mit dem zentralen Markierungspunkt des Hauptspiegels zur Deckung.

Ein kleiner Fehler in der Justierung des Fangspiegels stellt normalerweise kein Problem dar. Solange er unter ein bis zwei Prozent des Durchmessers des Hauptspiegels bleibt, tritt kein mit dem menschlichen Auge wahrnehmbarer Effekt auf.

Schritt 3: In diesem letzten und kritischsten Schritt wird durch diverse Kippvorgänge der komafreie Bereich des Hauptspiegels im Feld des Okularauszugs zentriert. Diese Prozedur sollte am Beginn einer jeden Beobachtungsnacht stehen und auch von Zeit zu Zeit wiederholt werden. Temperaturschwankungen und die Bewegung des Fernrohrs während der Beobachtung können nämlich dazu führen, dass die optischen Komponenten des Teleskops sich so weit gegeneinander verschieben, dass eine erneute Kollimation notwendig wird.

Am besten führen Sie diesen Schritt mit einem so genannten Chesire-Okular aus. Schieben Sie es in den Okularauszug und betrachten Sie die Reflexion seiner im 45-Grad-Winkel angebrachten, leuchtenden Oberfläche im Hauptspiegel. Durch Drehen der Stellschrauben der Hauptspiegelzelle kann diese mit dem zentralen Markierungspunkt des Hauptspiegels zur Deckung gebracht werden. Manchen Sternfreunden gelingt es, die Justierung alleine durchzuführen. Eine zweite Person kann hier jedoch eine große Hilfe sein. Die meisten Spiegelzellen besitzen drei Justier- oder drei Paar Einstellschrauben für Druck- und Zugkräfte.

Der Einfachheit halber empfehle ich, lediglich zwei der drei Schrauben zu nutzen. Die dritte, die wohl meist außerhalb der Reichweite Ihrer Hände liegt, kann ruhig in ihrem ursprünglichen Zustand belassen werden.

Nun stimmt die optische Achse genau mit der Längsachse des Okularauszugs überein. Die Justierung ist abgeschlossen. Bei genauem Hinsehen bemerkt man zwar, dass es so aussieht, als sitze das Chesire-Okular nicht genau in der Mitte des Fangspiegelschattens. Genau dieser Effekt tritt aber bei perfekter Justierung auf, denn der Fangspiegel ist innerhalb des optischen Systems tatsächlich ein kleines Stück versetzt.

Der Sterntest

Sobald Ihr Teleskop auf Umgebungstemperatur abgekühlt ist und sorgfältig justiert wurde, müsste seine Abbildungsqualität automatisch an der oberen Grenze liegen. Bei hoher Vergrößerung (dem Ein- bis Zweifachen der Teleskopöffnung in Millimetern) und gutem »Seeing«, einem Maß für die atmosphärische Unruhe, sollten exakt fokussierte Sterne dann im Okular als winzige, symmetrische Scheibchen erscheinen. Weisen die Sterne in der Mitte des Bildfeldes jedoch die typische, durch Koma verursachte Asymmetrie auf, so überprüfen Sie bitte noch einmal die Justierung mithilfe des Chesire-Okulars. Befindet sich die Hauptspiegelmarkierung immer noch im Zentrum, dann saß sie in Wirklichkeit vielleicht gar nicht in der optischen Mitte des Hauptspiegels.

Belassen Sie es aber erst einmal dabei. Verändern Sie zunächst die Justierung des Hauptspiegels in kleinen Schritten, bis die besten Sternbildchen in der Bildfeldmitte zu liegen kommen. Mit dem Chesire-Okular kann man nun den exakten Ort des optischen Zentrums genau bestimmen. Falls notwendig, so entfernen Sie den schwarzen Markierungsfleck und kleben Sie diesen wieder an der korrekten Position an. Oder Sie kleben einen zweiten, größeren Markierungsfleck über den alten. Sind Sie sich aber sicher, dass der Markierungsfleck genau in der Mitte des Hauptspiegels sitzt, so ist eine Feinjustierung mithilfe des Sterntests nicht mehr notwendig.

Die Einstellung des Fangspiegels **geht viel einfacher von der Hand, wenn Sie die vom Hauptspiegel kommenden Reflexionen mit einem Stück Karton ausblenden.**

Das Chesire-Okular ist einfacher zu benutzen und liefert insbesondere bei schlechtem Seeing, das in den meisten Nächten vorherrscht, gegenüber dem Sterntest eine höhere Genauigkeit.

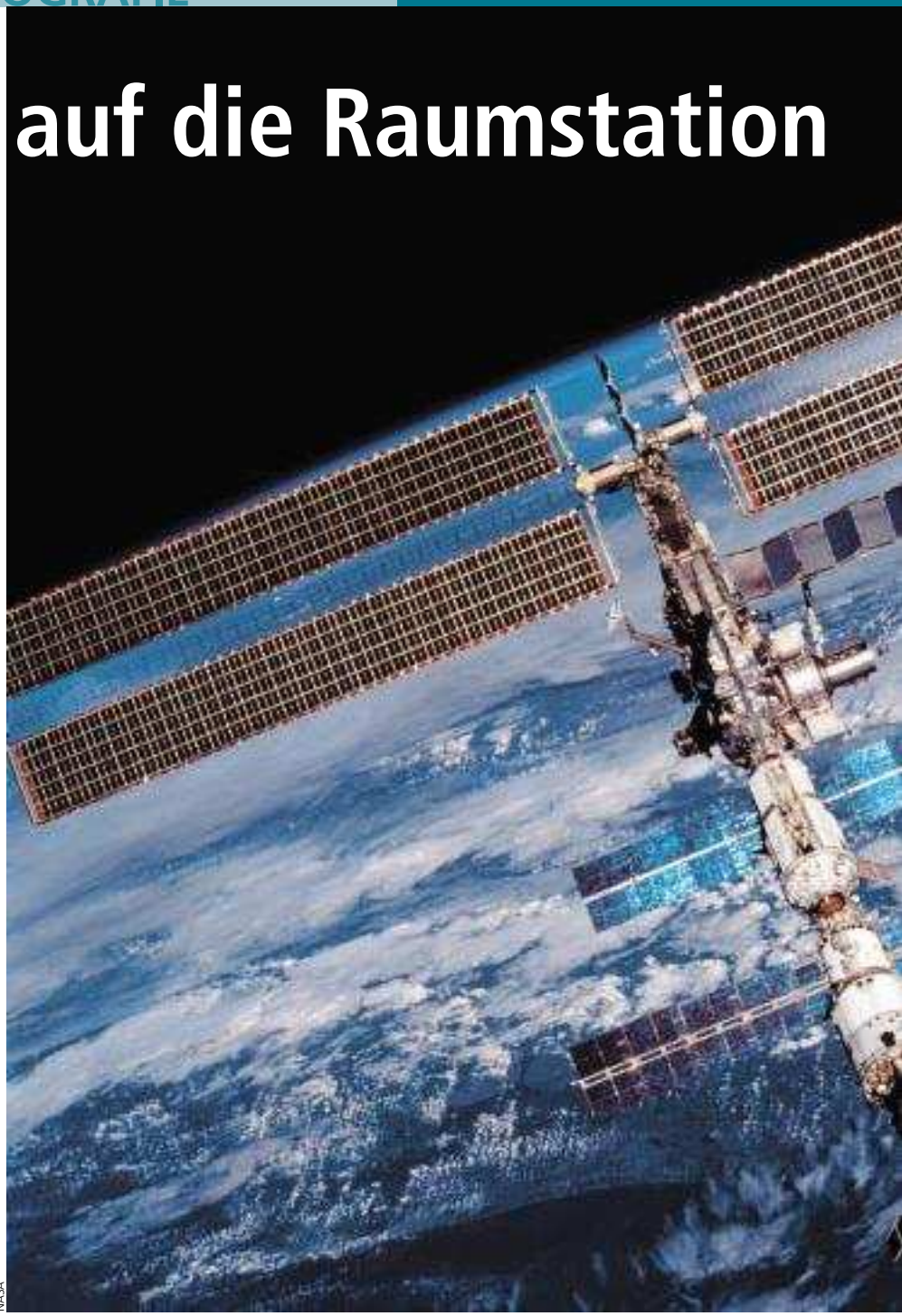
Jetzt, da sich Ihr Teleskop in der richtigen »Stimmung« befindet, sollte Ihnen seine bessere Abbildungsqualität gleich ins Auge fallen. Falls nicht, so verstellen Sie doch einmal den Hauptspiegel und beobachten Sie, was dann bei hoher Vergrößerung mit der Abbildung eines Planeten passiert. Sie werden es niemals mehr zulassen, dass sich Ihr Teleskop bei der Himmelsbeobachtung in einem dejustierten Zustand befindet! <<

Nils Olof Carlin ist Experte in Sachen Teleskop-Kollimation. Er lebt in Ystad, Schweden. Die wichtigsten Fragen und Antworten zum Thema Fernrohrjustierung hat er auf einer englischsprachigen Webseite zusammengestellt, die man auf www.atmsite.org unter dem Stichwort »collimation« findet. Einen ausführlichen Artikel zum Thema finden Sie unter http://w1.411.telia.com/~u41105032/

Videojagd auf die Raumstation

Auch Amateure können Details der Internationalen Raumstation ISS auf Video bannen. Dazu benötigen sie lediglich ein computergesteuertes Teleskop und die richtige Software.

>> Edwin L. Aguirre



NASA

Dutzende künstlicher Satelliten lassen sich in einer klaren, mondlosen Nacht schon mit bloßem Auge am Himmel erkennen. Sie verraten sich durch ihre langsame, stetige Bewegung relativ zu den Sternen. Manche militärische Aufklärungssatelliten, die Ausmaße von mehreren zehn Metern und scheinbare Helligkeiten zwischen –1. und –2. Größe erreichen, zeigen im Okular eines Fernrohrs bereits Einzelheiten.

Einen unangefochtenen Spitzenplatz unter den künstlichen Erdtrabanten nimmt jedoch die Internationale Raumstation ISS ein: Sie wird, falls der Absturz der Raumfähre Columbia und die andauernden Finanzprobleme nicht zu Abstrichen bei der Realisierung führen, mit 108 Metern Länge und 88 Metern Breite das bei weitem größte Objekt sein, das jemals im Erdorbit stationiert wurde. In puncto Helligkeit übertrifft sie abgesehen von der Venus schon jetzt sämtliche Sterne und Planeten.

Bereits mit einer handelsüblichen Videoausrüstung lässt sich die ISS auf Film bannen. Wer die Station, die in rund 400 Kilometern Höhe auf einer um 52 Grad gegen den Äquator geneigten Bahn um die Erde kreist, ins Visier nimmt, erkennt zahlreiche Details: Die erreichbare Auflösung beträgt hierbei weniger als eine Bogensekunde.

Die schwierigste Aufgabe eines ISS-Fotografen besteht in der präzisen Nachführung des Teleskops. Vom Erdboden aus gesehen hat die ISS in ihrer jetzigen Ausbaustufe einen Winkeldurchmesser von maximal 27 Bogensekunden. Damit ist sie kaum größer als Saturn zu Zeiten seiner größten Annäherung an die Erde.

Entsprechend viel Sorgfalt muss der ISS-Jäger aufwenden, um die Raumstation zu entdecken, sie ins Zentrum des Gesichtsfelds seiner Videokamera zu bringen und trotz ihrer Bewegung dort auch zu halten. Dazu muss er ihre Himmelskoordinaten am Beobachtungsort, ihre Bewegungsrichtung und ihre Geschwindigkeit kennen.

In rund 400 km Höhe fliegt die Internationale Raumstation ISS mit einer Geschwindigkeit von 7 km/s um die Erde. Mit bloßem Auge erscheint der 170 t schwere Koloss wie ein heller, langsam dahinziehender Stern. Bei hoher Vergrößerung zeigt das Teleskop eine Reihe von Details wie Solarpaddel und Wohnmodule. Das Foto zeigt die Raumstation, wie sie die Besatzung des Spaceshuttles Discovery am 20. August 2001 sah.

Außerdem ist eine sehr gute Montierung mit Computernachführung und entsprechende Steuerungssoftware erforderlich. Für die ISS-Fotografie eignen sich Go-to-Teleskope wie das Meade LX200, das Celestron Ultima und die Teleskope der NexStar-Serie. Zweckmäßige Montierungen sind die Paramount von Software Bisque, die Gemini von Losmandy und die GTO-Serie von Astro-Physics. Sie verfügen über präzise Servomotoren und Computerschnittstellen.

Zu den Pionieren der hochauflösenden Satelliten-Amateurfotografie gehören Ron Dantowitz und Marek Kozubal aus den USA. Bereits 1995 installierten sie ein Zwölf-Zoll-Schmidt-Cassegrain-Teleskop und einen Sieben-Zoll-Refraktor auf derselben Montierung. Mit diesem optischen System zur Satellitenverfolgung erreichten sie eine bis zu 460fache Vergrößerung.

Die Software für die Steuerung der Nachführung mussten sie allerdings noch selbst schreiben. Mittlerweile gibt es kommerzielle Programme, die die Himmelskoordinaten in Echtzeit berechnen und der Montierung die Nachführbefehle übermitteln. Als Input benötigen sie die Bahnelemente der Satelliten – »Two line elements«, TLEs genannt.

Mechanische Schwingungen und das Getriebespiel der Nachführung lassen das Fernrohr dennoch von der idealen Nachführbahn abweichen. Die meisten Programme erlauben daher manuelle Korrekturen mithilfe von Fadenkreuzokular und Joystick beziehungsweise Maus. Kurze Verschlusszeiten von etwa 1/250 Sekunde helfen, die Tubusvibrationen zu unterdrücken und das atmosphärische Flimmern »einzufrieren«.

Generell gilt: Je näher die ISS dem Zenit kommt, desto besser wird die Bildqualität. Erscheint sie über dem Horizont, ist sie noch bis zu 2000 Kilometer entfernt – dann stört die Luftunruhe erheblich.

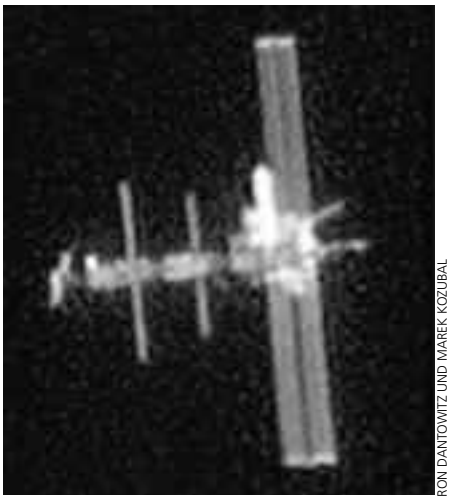
Die Empfindlichkeit der Videokamera stellt angesichts der vom Sonnenlicht hell angestrahlten Raumstation keine kritische Größe dar. Schärfe und Belichtung müssen allerdings manuell einstellbar sein, da die meisten Programmautomatiken vom Kontrast zwischen heller ISS und tiefschwarzem Nachthimmel überfordert sind.

Schrittweise zum ISS-Porträt

Wann die ISS am Beobachtungsort sichtbar ist, lässt sich auf Internetseiten wie www.heavens-above.com oder skyandtelescope.com/observing/almanac herausfinden. »Es gibt keinen Ort, an dem die Station in jeder Nacht sichtbar ist«, erklären die britischen Amateure Philip Masding and Mike Tyrrell. »Alle paar Monate kommt es aber zu Serien von Überflügen, die rund zwei Wochen andauern.« Aktuelle TLEs sind unverzichtbar: »Die Umlaufbahn niedrig fliegender Objekte kann sich durch den Luftwiderstand in der Atmosphäre binnen weniger Wochen ändern. Zudem wurde die Bahn der ISS in der Vergangenheit regelmäßig mit den Raketenmotoren des Spaceshuttles angehoben. Das änderte ihre Flugbahn immer sehr plötzlich.« Die neuesten TLE-Daten für ihre Nachführsoftware »Satellite Tracker« (erhältlich auf www.heavenscape.com) laden die Astrofotografen aus dem Web, etwa von den Homepages von Thomas Sean Kelso oder Alan Pickup (celestrak.com und www.wingar.demon. co.uk).

Rund eine Stunde vor der Sichtbarkeit stellen Tyrrell und Masding ihr Zehn- >

Kleiner als ein Meter sind die auf dieser Aufnahme sichtbaren Details, die am 10. September 2002 mit einem 12-Zoll-Schmidt-Cassegrain-Teleskop (f/30) und einer GW-100N-Neptune-Astro-Videokamera tagsüber gemacht wurde. Unten: Schnappschuss eines Astronauten an Bord des anfliegenden Spaceshuttles.



RON DANTOWITZ UND MAREK KOZUBAL

NASA

J. HUBER UND T. LINDEMANN

An der Münchner Volkssternwarte bannen Josef Huber und Tobias Lindemann die ISS mithilfe eines 16-Zoll-Schmidt-Cassegrain auf Video. Gemeinsam mit einem US-Amateur entwickelten sie ein automatisches Nachführsystem.

> Zoll-LX200-Fernrohr auf und richten es sorgfältig auf den Himmelsnordpol aus. Als Nächstes sorgen sie für die Synchronisierung der Uhren des Teleskops, des Computers und der Videokamera. Dabei hilft ihnen das Zeitsignal der Atomuhr im englischen Rugby. »Ein gutes Timing ist sehr wichtig«, betonen sie. »Ist die Teleskopuhr nur um eine Sekunde falsch gestellt, befindet sich die ISS bei höchster Vergrößerung schon außerhalb des Gesichtsfelds.« Schließlich montieren sie den Camcorder auf das Hauptfernrohr und fokussieren ihn auf einen Stern. Nun ist alles fertig zum Countdown für das Rendezvous.

»Wenn die ISS über den Dächern im Westen aufgeht, lokalisiert sie einer von uns mit Hilfe des Sucherfernrohrs«, erzählen die Amateure. Der andere gibt dann am Laptop Korrekturkommandos ein, um die Station in die Gesichtsfeldmitte zu bringen. Ist das gelungen, wird der optische Zoom der Kamera zugeschaltet und die Aufnahme gestartet. Während des Überflugs lässt sich das Videosignal auf einem kleinen Schwarz-Weiß-Monitor kontrollieren.

»Bei zehnfachem Zoom hat unser Camcorder ein Gesichtsfeld von nur 4,4 mal 3,3 Bogenminuten«, erklärt Masding. Die Station in der Mitte des Gesichtsfelds zu behalten, erfordert daher einiges Training. »Videospiele wie Tetris sind da keine schlechte Wahl«, meint der ISS-Spezialist augenzwinkernd.

Ein Überflug dauert bis zu sieben Minuten. Die Bildausbeute ist in der Regel eine Mischung aus scharfen Abbildungen und verwaschenen Flecken. Bei der Auswahl der besten Bilder hilft die Schnittstelle der Videokamera, über die sich die Rohbilder direkt auf einen Computer überspielen lassen.

Bei analogen Camcordern mit 8mm-, Hi-8- oder VHS-Standard braucht der PC zusätzlich eine »Capture«-Karte, die analoge in digitale Videosignale verwandelt. Manche Karten erlauben es, identische Bilder digital zu kombinieren (Video-Jargon: »stacken«), um eine höhere Schärfe zu erzielen.

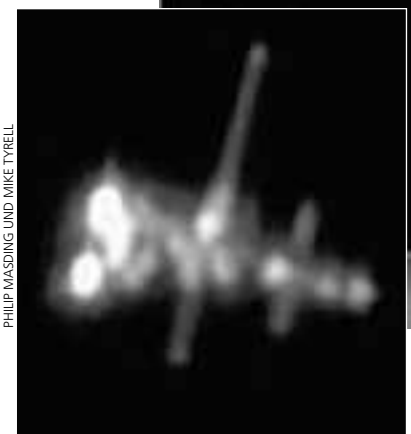
Aufbau und Orientierung der Station sind auf den Bilder nicht immer auf Anhieb klar erkennbar – insbesondere, wenn die Station in Horizontnähe abgelichtet wurde, bestimmte Bauelemente überbelichtet sind oder im Schatten verschwinden. Darum programmierten Masding und Tyrrell einen »ISS Simulator«, der die Sicht auf die Raumstation von jedem Punkt der Erde aus simuliert (siehe Bild unten). Von ihren Webseiten www.astrospider.com und freespace.virgin.net/philip.masding lässt sich die Software gratis herunterladen.

Aus ihren besten Fotos erstellen die beiden auch Videokurzfilme und präsentieren sie dann auf ihren Internetseiten. Hierzu richtet ein selbst geschriebenes Programm das Abbild der ISS auf den Aufnahmen einheitlich aus und verbessert per Stacking die Schärfe. In einem weiteren Programmschritt wird der Kontrast erhöht. Am Ende fliegt die ISS im Zeitraffer über den Bildschirm.

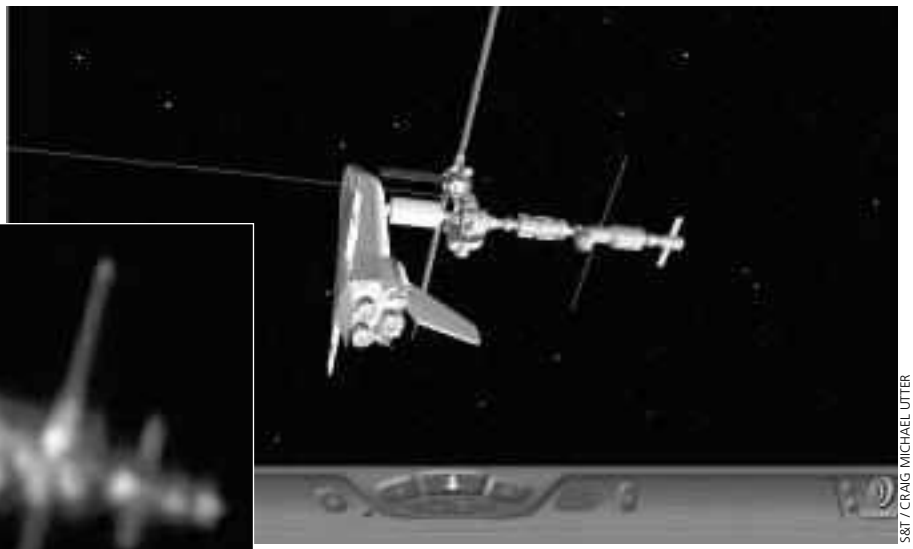
Doppelt hält besser

Auch deutsche Amateure haben die Raumstation im Visier. Zum Beispiel an der Bayerischen Volkssternwarte München: »Seit unser neues 16-Zoll-Schmidt-Cassegrain für die Satellitenbeobachtung ausgerüstet ist, arbeiten wir an Aufnahmen der ISS«, berichten Josef Huber und Tobias Lindemann. Recherche, Softwaretests und mehrere fehlgeschlagene Versuche nahmen zwei Jahre in Anspruch, bis endlich das erste Bild gelang. »Ich kam spät von der Arbeit in die Sternwarte«, erinnert sich Lindemann, »und konnte

Das Freeware-Programm »ISS Simulator« zeigt die Ausrichtung der ISS im Orbit und hilft auf diese Weise, einzelne Bauelemente auf den Aufnahmen zu identifizieren. Rechts eine Simulation, links eine Aufnahme der Station in 433 km Entfernung. Das Bild entstand am 14. Dezember 2001, als der Spaceshuttle Endeavour angedockt hatte.



PHILIP MASDING UND MIKE TYRELL



S&T / CRAIG MICHAEL UTTER

J. HUBER UND T. LINDEMANN

Eine Farbaufnahme der ISS mit dem angedockten Spaceshuttle Endeavour (links im Bild) vom 10. Dezember 2001. Farbänderungen von ISS-Bauteilen lassen sich besonders gut verfolgen, wenn die Station auf ihrer Umlaufbahn nahe dem Erdschatten ist.

kaum glauben, was Josef mir da auf Video vorführte. Die großen Solarzellenausleger und alle Module waren erkennbar!«

Die Münchner verfolgen die ISS sogar mit zwei Kameras. Die erste ist eine besonders lichtempfindliche (0,02 Lux) Schwarz-Weiß-Überwachungskamera, die hinter dem Zwei-Zoll-Leitrefraktor (f/6) angebracht ist. Die zweite ist ein Panasonic-Mini-DV-Camcorder für Farbaufnahmen, den Huber und Lindemann mit dem Schmidt-Cassegrain-Hauptfernrohr gekoppelt haben. Ihr Kollege Manfred Mauz konstruierte zusätzlich einen motorgetriebenen spielfreien Okularauszug zur berührungslosen Fokussierung ebenso wie eine Hauptspiegelfixierung, die Verschiebungen des Spiegels während der Aufnahme verhindert. Mittels zweier kleiner TV-Monitore überwachen die Astrofotografen ihre Videokameras.

Als Ergänzung zur »Satellite Tracker«-Software nutzen sie das Programm »Ufas«, das sie mit Bill Powers aus dem US-Bundesstaat Colorado entwickelt haben und auf www.iss-tracking.de zum Download bereitstellen. »Sobald die Nachführung läuft«, erklärt Huber, »liest Ufas das Bild des Leitfernrohrs ein. Mithilfe der Himmelspositionen, die der Satellite Tracker berechnet, zentriert es das Satellitenbild im Gesichtsfeld des Hauptfernrohrs und sorgt dafür, dass es an dieser Stelle bleibt.«

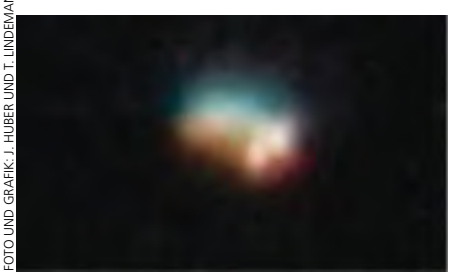


FOTO UND GRAFIK: J. HUBER UND T. LINDEMANN

Neu im All: Diese Aufnahme des Umweltsatelliten Envisat entstand bei dessen Überflug über München am 13. Mai 2002. Das Modell (oben) zeigt die Radarantenne Asar (grau) und das 14×5 m² große Solarpaddel (blau).

Nach einem einzigen ISS-Überflug liegen dann rund 12 000 Bilder auf der Festplatte. Gemeinsam mit Martin Elsässer, ebenfalls von der Volkssternwarte München, wurde ein Computerprogramm entwickelt, das seit kurzem automatisch die schärfsten Aufnahmen aussortiert.

Preiswerte Alternative

Doch es geht auch ohne Hightech: David J. Cash aus dem englischen Lancashire bannt die ISS ausschließlich mit manueller Nachführung auf Band! »Ich mache meine Bilder im Brennpunkt meines 9,25-Zoll-Celestron-Ultima-Teleskops mit Webcams wie der ToUCam Pro«, erzählt der Brite. Das Philips-Produkt kostet gerade einmal achtzig Euro. »Dabei sind Rektaszensions- und Deklinationsachse entriegelt und die Motornachführung abgestellt. Als Objektiv dient das Teleskop, die Webcam-Objektive habe ich ausgebaut. Ein Kippspiegel mit Fadenkreuzokular hilft, das Bild der ISS ins Gesichtsfeld zu bekommen.«

Das 9×50-Sucherteleskop fungiert bei Cashs Methode als Leitfernrohr für die Nachführung. Die automatische Signalverstärkung (»Autogain«) schaltet er ab und stellt seine Webcam auf konstante Verstärkung von fünfzig Prozent ein. Als Verschlusszeit wählt er 1/250 Sekunde.

Jeder ISS-Überflug liefert fünfzig Megabyte Daten und rund zwanzig brauchbare Bilder. »Es ist eine Methode auf gut Glück«, resümiert Cash, »die dennoch detailreiche Aufnahmen erlaubt.«

Während der weitere Ausbau der ISS wegen der Shuttlekatastrophe noch in den Sternen steht, haben Amateure längst auch eine Reihe von anderen Satelliten erfolgreich ins Visier genommen: geostationäre Trabanten ebenso wie geheime Spionagesatelliten. Auf Tom Troszaks Webgalerie www.bullhammer.com/satphotos.htm werden einige Schnappschüsse davon präsentiert.

Eine neue Herausforderung ist der europäische Umweltsatellit Envisat. Mit 26 Metern Länge, 7 Metern Breite und 10 Metern Höhe ist er groß genug für ISS-erfahrene Fotografen. Kurz nachdem er im März 2002 in eine polare Umlaufbahn in 800 Kilometern Höhe gestartet war, hatten ihn Huber und Lindemann schon im Visier: »Envisat hat etwa 3. Größe. Bereits im Mai erwischten wir ihn am Münchner Himmel.« <<

S&T-Redakteur **Edwin L. Aguirre** entdeckte seine Liebe zu Satelliten, als er 1979 die aufgegebene US-Raumstation Skylab auf einem ihrer letzten Überflüge über Manila kurz vor ihrem Absturz beobachtete.

Richard Panek
Das Auge Gottes
Das Teleskop und die lange Entdeckung der Unendlichkeit
Klett-Cotta, Stuttgart 2003, 196 S., 16,00 €

Neue Weltsicht

Anfang des 17. Jahrhunderts verbreitete sich binnen kürzester Zeit die Kunde von einem neuartigen optischen Instrument, das das Interesse von Astronomen, Seefahrern und wissensdurstigen Gelehrten erregte. Einem von ihnen eröffnete das »perspicillum«, wie das Teleskop anfangs genannt wurde, das Tor zu einem neuen Universum. Galileo Galilei, ehrgeiziger Mathematiker an der Universität zu Padua, notierte in einem Brief: »Heute Abend habe ich Jupiter in Begleitung von drei Fixsternen beobachtet, die auf Grund ihrer geringen Größe sonst völlig unsichtbar sind.« Wenige Tage später war ihm klar, was er da beobachtet hatte.

Mit der Entdeckung der Jupitermonde zerbarsten die kristallenen Himmelssphären des Aristoteles. Die Gedanken der Gelehrten, die seit zwei Jahrtausenden um ein falsches Weltbild kreisten, waren wieder frei. Schrittmacher der neuen Astronomie war das Teleskop, dessen Geschichte der New Yorker Wissenschaftsjournalist Richard Panek hier erzählt. Hevelius und Kepler bedienten sich des »Auges Gottes« ebenso wie Edmond Halley, der damit erstmals den Himmel der südlichen Hemisphäre katalogisierte, und William Herschel, jener Astronom und Teleskopbauer, der seine Liebe zur Musik der noch größeren Liebe zur Astronomie opferte.

Bald reichte die Welt immerhin bis an den Rand unserer Milchstraße. Ende der 1920er Jahre fegte Edwin Hubble mit seiner Entdeckung des expandierenden Kosmos den Glauben an ein statisches Universum vom Tisch. Und noch immer macht das Teleskop Geschichte: Eine einzige Aufnahme des Weltraumteleskops Hubble im Jahr 1996 genügte, »und das Universum wuchs um vierzig Milliarden Galaxien«.

Panek lässt uns teilhaben am Stolz und der Entdeckerfreude der Astronomie-Pioniere, an der Genugtuung, die Galilei beim Überbringen seiner Epoche machenden Nachricht spürte, an der Aufregung Karl Janskys, als dieser die Ursache für das Rauschen in einer Fernsprechverbindung schließlich im Zentrum der Milchstraße ortete. Zwar haben uns Teleskope auch heute noch nicht verraten, wie groß das Universum tatsächlich ist. Doch mit Richard Panek erleben wir, wie es in den Augen der Menschen seit 400 Jahren ins Unermessliche wächst.

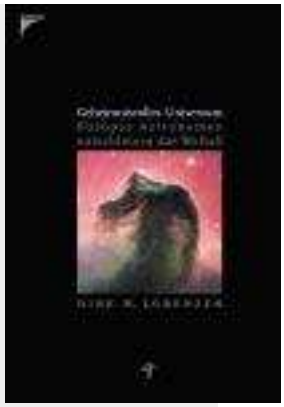
>>Thilo Körkel

Weltraumbilder aus der Wüste

Ein Bildband zum 40-jährigen Eso-Jubiläum

Dirk H. Lorenzen
Geheimnisvolles Universum
Europas Astronauten entschleiern das Weltall
Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart 2002, 208 S., 49,90 €

DVD:
ESO
Europe Reaches for the Stars. Forty Years ESO
ESO Education and Public Relations Dept., Garching 2002, DVD, Dauer 51:37 min, in Englisch, Französisch und Deutsch, 10,00 €



Wenn die Europäische Südsternwarte (Eso) einen Wissenschaftsjournalisten in die Wüste schickt, dann nicht, weil sie ihm böse ist, sondern um ihn eine Reportage über das leistungsfähigste Observatorium der Welt schreiben zu lassen. Ergebnis der Kooperation ist ein Bildband im Großformat, der mehreres zugleich ist: ein Jubiläumsbuch über die seit vierzig Jahren bestehende Großforschungseinrichtung Eso, ein Porträt der weltbesten Sternwarte, des »Very Large Telescope« (VLT) in Chile, vor allem aber ein Buch über die Erkenntnisse und offenen Fragen der modernen Astronomie.

Als die Eso im Jahr 1962 gegründet wurde, sollte sie den europäischen Astronomen den südlichen Sternhimmel erschließen. So wurde auf dem Berg La Silla in den chilenischen Anden ein Observatorium mit einem 3,6-Meter-Teleskop als Hauptinstrument errichtet. Was man damals noch nicht ahnte: Ein Vierteljahrhundert später sollte eine ganz andere Klasse von Großteleskopen die Astronomie beherrschen, nämlich Spiegel mit acht oder zehn Meter Durchmesser. Doch die Eso reagierte: Mehrere hundert Kilometer nördlich von La Silla stampfte man in den Jahren 1991 bis 1999 ein aus vier 8,2-Meter-Spiegeln und mehreren kleineren Hilfsteleskopen bestehendes neues Observatorium aus dem Boden: das Very Large Telescope.

Dirk Lorenzen erzählt in anschaulicher und lockerer Sprache, wie das VLT und andere Großteleskope eine neue Ära begründeten. Er vergisst dabei auch nicht die Personen vorzustellen, die Chile als astronomischen Beobachtungsstandort »entdeckten« und mit Ausdauer und Engagement den Aufbau der dortigen Sternwarten ermöglichten. Sein reich illustriertes Buch endet mit einem Ausblick auf weitere in der chilenischen Wüste geplante Observatorien: das aus 64 Radioteleskopen bestehende »Atacama Large Millimeter Array« (Alma, siehe Astro-News, S. 10) und das mit hundert Meter Durchmesser wahrhaft überwältigende »Overwhelmingly Large Telescope« (Owl).

Mit Lorenzens Buch und der in drei Sprachen produzierten DVD legt die Eso zwei Medien vor, die dem Leser beziehungsweise dem Zuschauer nicht nur das Abenteuer Astronomie näher bringen, sondern ihn auch teilhaben lassen an der nicht weniger spannenden Entwicklung neuer Beobachtungstechniken.

>> Uwe Reichert

Basiswissen im Netz

Im World Wide Web finden sich astronomische Informationen aller Art, aber welche eignen sich für Neulinge? Wir haben einige Anleitungen und Nachschlagewerke für Sie in Augenschein genommen. **>> Oliver Dreissigacker**

astronomie-heute.de **erleichtert Ihnen mit zahlreichen Online-Artikeln den Einstieg in die Welt des Beobachtens.**

Viele Webseiten widmen sich speziellen Vorlieben oder Vorhaben. Auf der österreichischen Seite parallax.at finden angehende Amateurbeobachter alle Grundlagen, die für die Benutzung von Sternkarten und die Verwendung eines Fernrohrs notwendig sind. Der Autor H. C. Greier ist Experte für Webdesign, und das kommt den Seiten sehr zugute: In gefälligem Layout präsentiert er äußerst gelungene und verständliche Abbildungen, die auch komplizierte Zusammenhänge einleuchtend illustrieren, wie etwa die verschiedenen in der Astronomie gebräuchlichen Koordinatensysteme oder Kegelschnitte der Umlaufbahnen.

Eine ziemlich einzigartige Flash-Anwendung finden Besucher im »Gesichtsfeldsimulator«, kurz GFS, mit dem Einsteiger die Erscheinung astronomischer Objekte nach der Wahl von Objektiv- und Okularbrennweite ihres Fernrohrs simulieren können.

Wenn Sie sich für ein ganz bestimmtes Objekt interessieren, lohnt ein Besuch bei einem Klassiker unter den Astronomiewebseiten – dem Münchner Astro-Archiv maa.mhn.de. Die Netzwerkadministratorin Chris Kronberg hat hier zahllose Karten und Objektinformationen in englischer und deutscher Sprache zusammengestellt. Dazu zählen die 110 Messiernebel, aber auch Meteorschauer, Mondphasen und vieles mehr. Das Lexikon oder Glossar ist leider nur in Englisch verfügbar, hier bietet sich »Lisa« auf enzyklop.info als Alternative an.

Alles online, oder was?

Das »Laufener Informationssystem für Astronomie / Astrophysik« des Schweizers Andi Kronawitter bietet natürlich nicht so viele Einträge wie das kommerzielle Lexikon von Wissenschaft-online, doch die wichtigsten Begriffe der Astronomie werden kurz und bündig erklärt. Die Liste ist noch im Wachstum begriffen und gibt meist zusätzlich die entsprechenden englischen Fachwörter an. Ein weiteres Glossar findet sich bei einem Astroseiten-dauerbrenner: »The Nine Planets« von Bill Arnett. Dank Christoph Högl, Helmut Fritsch und Michael Wapp ist diese Multimediatour durch das Sonnensystem auch auf Deutsch verfügbar. Sie wird ständig ergänzt, beispielsweise mit Informationen über neu entdeckte »Bewohner« des Sonnensystems wie Quaoar, Cruithne oder AA29. Leider wird auf der Seite keine Suchfunktion angeboten. Hier müssen Besucher mit der Internet-Suchmaschine ihrer Wahl zu Werke gehen, um die Internetadresse wappswelt.de gezielt unter die Lupe zu nehmen. Dabei merken Sie dann allerdings, dass Objekte wie 20000 Varuna oder 28978 Ixion noch nicht vertreten sind. Dafür können aber Handynutzer, die sich auf den Seiten bereits genügend auskennen, per »Wap« auf das bestehende Angebot zugreifen.

parallax.at **bietet seinen Besuchern einen Gesichtsfeldsimulator. Er kann wahlweise online im Browser verwendet oder auf die Festplatte geladen werden.**

Auch ASTRONOMIE HEUTE hat natürlich hilfreiche Tipps auf seinen Webseiten parat: Unter dem Menüeintrag »Basiswissen« erläutern mehrere Kapitel die Grundlagen der Astronomie und beraten den künftigen Beobachter bei der Wahl seines Instruments. Schauen Sie immer mal wieder vorbei, unser Angebot wird ständig erweitert! Ein nützliches Hilfsmittel ist auch die »Interaktive Sky Chart«, mit der Sie jederzeit nachsehen können, wann Ihr Lieblingssternbild oder -planet wieder am Nachthimmel erscheint. <<

Oliver Dreissigacker ist Redakteur bei ASTRONOMIE HEUTE und surft seit mehr als zehn Jahren auf Datenleitungen aller Bandbreiten.

www.parallax.at • www.maa.mhn.de/dt_home.html
www.enzyklop.info • www.wissenschaft-online.de/blatt/lexika_uebersicht/ • www.wappswelt.de/tnp/ • www.neunplaneten.de/index.wml

Sturm im Weltraum

Ein scharfer Wind fegt durch unser Sonnensystem. Nur das Erdmagnetfeld schützt uns vor seinen energiereichen Teilchen und gewährt uns Zuflucht vor dem Sturm.

>> E. C. Krupp

Jeder, der schon einmal ein Zelt aufgebaut hat, weiß, wie schwer die Suche nach einem windgeschützten Plätzchen sein kann.

Wir benutzen die Kraft des Winds um zu segeln, Drachen fliegen zu lassen, Getreide zu mahlen oder um Strom zu erzeugen. Kühle Brisen und warme Zephirwinde schmeicheln uns, doch ein starker Sturm kann unser Vorankommen schon arg behindern oder uns gar aus der Bahn werfen. Im Wind rauschen die Kiefern und die Palmen wiegen sich. Fenster klappern. Haar weht. Winde bringen starken Regen, Pollenflug, peitschenden Staub und schwere See mit sich.

Eisige Winde wehen auch durch die unwegsamen, trostlosen Bergmassive Tibets. In »Lost Horizon«, einem Roman von James Hilton aus dem Jahre 1933, bringen sie den Menschen in größte Gefahr. Eine harte Notlandung inmitten einer frostigen Nacht setzt die Passagiere eines Flugzeugs plötzlich dem »infernalischen« Wind des Gebirges aus, einem Sturm, der die Sterne wie »umherwirbelnde Lichtsplitter« erscheinen lässt. Erbarmungslos fegt er durch die kalte und dunkle Leere und trägt den letzten Rest an Wärme mit sich fort. Doch als die Passagiere aufbrechen, um Rettung zu suchen, stoßen sie am Fuße eines Tals auf das Lama-Kloster von Shangri-La. Dort finden sie Zuflucht vor dem Sturm.

Die Macht des Windes über den Menschen ist allgegenwärtig: Er stürzt Bäume um, lässt Schiffe kentern und deckt Häuser ab.

Doch stets bleibt unser mächtiger Widersacher unsichtbar. Christina Rosetti, Lyrikerin im viktorianischen England des ausgehenden 19. Jahrhunderts, erwies seiner unsichtbaren Existenz in einem ihrer Gedichte die Ehre:

Wer hat den Wind gesehen?
Weder Du noch ich;
Doch wenn die Bäume ihre Häupter neigen,
Dann geht der Wind vorüber.

Seit einigen Jahrzehnten wissen wir, dass noch ein anderer Wind durch unsere Welt weht: viel schneller, viel bedrohlicher und doch genauso unsichtbar wie die Luftströmungen auf der Erde. Vor vierzig Jahren entdeckte ihn die Raumsonde Mariner 2 auf ihrem Flug zur Venus. Ein Strom schneller Teilchen schießt ständig aus der Sonne heraus und trifft knapp vier Tage später mit einer Geschwindigkeit von 500 Kilometern pro Sekunde – das entspricht 1,8 Millionen Kilometern pro Stunde – auf die Erdatmosphäre.

Stetig umweht dieser »Sonnenwind« unseren Planeten. Unsichtbar wie die Brise, in der sich die Bäume wiegen, ver-

MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON MICHAEL KLENSCH

Ähnlich wie das Raumschiff Enterprise besitzt auch die Erde ein Schutzschild gegen Bedrohungen aus dem All. Polarlichter zeugen von der abschirmenden Wirkung unserer Magnetosphäre. Die geladenen Teilchen von der Sonne, die sie aufleuchten lassen, sind freilich schon durch die erste Verteidigungslinie geschlüpft. Dennoch erinnern sie uns daran, dass die meisten Eindringlinge bereits abgewehrt wurden.

rät er sich doch mit auffälligen Phänomenen in unserer Atmosphäre und durch Veränderungen im Erdmagnetfeld. Manchmal, wie im Fall der Polarlichter, ist sein Einfluss sogar mit bloßem Auge sichtbar. Ein anderes Mal erfahren wir erst dank moderner Technologie von seiner Gegenwart: Nämlich dann, wenn magnetische Stürme unsere Kommunikationsverbindungen stören oder ganze Stromnetze lahm legen.

Schon die Astronomen des 19. Jahrhunderts vermuteten Stürme auf der Sonne. Doch Stürme von der Sonne hätten sie sich niemals träumen lassen. 1896 erklärte der norwegische Physiker Kristian O. Birkeland die »Aurora borealis«, das Nordlicht, zum Werk elektrisch geladener Teilchen, die von der Sonne stammen. Diese Teilchen werden vom Magnetfeld der Erde eingefangen und in die oberen Schichten der Atmosphäre gelenkt, wo sie das farbenprächtige Schauspiel des Polarlichts auslösen. Die Vorstellung, dass Teilchen von der Sonne ausgestoßen werden, war damals neu. Doch Birkeland hatte in seinem Labor festgestellt, dass elektrische Entladungen ein verdünntes Gas zum Leuchten anregen. Seine Erkenntnisse übertrug er auf das Polarlicht und behauptete, die Atmosphäre sei mit »Strom von der Sonne« aufgeladen.

Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts wurden gelegentliche Unterbrechungen von Telegrafenübertragungen, Radioprogrammen und Telefonverbindungen bereits Störungen des Erdmagnetfelds zugeschrieben. Was diese aber letztendlich verursachte, konnten die Physiker erst in den 1930er Jahren aufklären. Damals beschrieb Sydney Chapman sie als Folge von Böen energiereicher elektrisch geladener Teilchen, die von der Sonne ausgehen. Schwankungen in der Intensität der kosmischen Strahlung treiben die Teilchen in den interplanetaren

FRED ESPENAK

Wie der Wind auf der Erde, so ist auch der Sonnenwind unsichtbar. Nur während einer totalen Sonnenfinsternis sehen wir im strahlenden Lichtkranz der Korona einen Teil seiner Wirkung.

Raum hinaus. Der Physiker Philip Morrison wies kurze Zeit später nach, dass solche Böen aus ionisiertem Gas – so genanntem Plasma – sogar einen Teil des Magnetfelds der Sonne mit sich reißen.

Gelenkte Kometenschweife

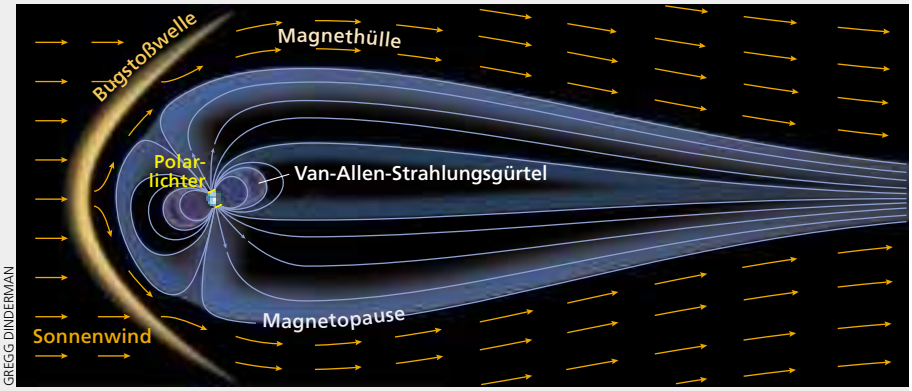
Die neuen Erkenntnisse führten dazu, dass sich der vermeintlich leere Raum zwischen den Himmelskörpern immer weiter füllte: mit Partikeln aus der Sonne, elektrischen Ladungen und magnetischen Feldern. Aber noch immer glaubte niemand an einen kontinuierlich blasenden Wind von der Sonne. Stattdessen nahm man an, atomare Teilchen würden die Sonne in einzelnen Ausbrüchen verlassen. Im Jahr 1951 veröffentlichte der deutsche Astronom und spätere Direktor des Max-Planck-Instituts für Astrophysik Ludwig F. Biermann eine neue Theorie über die Ausrichtung von Kometenschweifen. Zwar war europäischen Astronomen bereits seit 1531 bekannt, dass diese stets von der Sonne wegzeigen. Ihre Richtung, so nahm man damals aber an, werde ihnen von der Sonnenstrahlung vorgegeben.

Doch Biermanns Berechnungen bewiesen, dass das Sonnenlicht nicht über die nötige Kraft verfügt, um das vom Kern eines Kometen wegströmende Gas in eine bestimmte Richtung zu lenken. Anders die elektrisch geladenen Teilchen, denn diese sind dazu sehr wohl in der Lage und könnten das Gas auch zum Leuchten anregen. Jetzt war klar, woher der Wind wehte: Da ein Komet auf seiner Reise durch das Planetensystem stets einen mehr oder weniger langen Gasschweif hat, der von der Sonne wegzeigt, konnte die Ursache hierfür nur in einem von der Sonne wehenden Wind aus gela- >

Wetterfahne im All

Der Sonnenwind verformt das Magnetfeld der Erde zu einem langen Schlauch, einer Art Wetterfahne. Den Übergang zwischen irdischem und solarem Magnetfeld nennen die Wissenschaftler Magnetopause.

Die Hauptlast des Sonnenwinds trägt die der Sonne zugewandte Seite. Dort bildet sich eine Bugstoßwelle. An den magnetischen Polen können Teilchen des Sonnenwinds auf Spiralbahnen bis in die tieferen Schichten der Erdatmosphäre eindringen. Diese bringen Gasmoleküle in hohen Breiten zum Leuchten: Ein Polarlicht entsteht.



GREGG DINDERMAN

STSCI

Auch auf dem fernen Jupiter ruft der Sonnenwind Polarlichter hervor. Das im UV-Licht aufgenommene Bild stammt vom Hubble-Weltraumteleskop.

> denen Partikeln liegen. Als erster Mensch hatte Biermann seinen Finger in den Sonnenwind gehalten.

Wie dieser entsteht, blieb bis 1957 ungeklärt. In diesem Jahr zeigte Chapman, dass die äußerste, extrem heiße Atmosphäre der Sonne – die Korona – nicht auf unseren Tagstern beschränkt ist, sondern das ganze Planetensystem einhüllt. Als Eugene N. Parker, ein Astrophysiker der Universität von Chicago, von Chapmans Ergebnissen erfuhr, kam ihm der Gedanke, dass das Plasma der Korona dasselbe sein könnte, das auch die Schweife der Kometen formte. Bis dahin hatte man die Sonnenatmosphäre für statisch gehalten. Doch Parkers Berechnungen zeigten, dass sie expandiert und sich dabei in eine Hochgeschwindigkeitsströmung verwandelt. Er war es auch, der schließlich den Begriff des »Sonnenwinds« prägte und

MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON E. C. KRUPP

Diese 33-Cent-Briefmarke der Föderierten Staaten von Mikronesien ist der Entdeckung des Sonnenwinds durch Mariner 2 gewidmet.

Biermanns Kometen Windhosen taufte. Jetzt war klar, dass die Kometenschweife schon seit jeher Stärke und Richtung des Sonnenwinds angezeigt und mit gelegentlichen Richtungswechseln ihrer Plasmaschweife Änderungen des solaren Magnetfelds dokumentiert hatten.

Im Jahr 1959 entdeckte die sowjetische Mondsonde Lunik 2 schließlich die ersten Teilchen des Sonnenwinds. Dessen stetige, alles durchdringende Natur wurde von der 1962 gestarteten Sonde Mariner 2 nachgewiesen. Im April 1964, als Parker seinen Artikel »Der Sonnenwind« im »Scientific American« veröffentlichte und Sky & Telescope das Thema einen Monat später aufgriff, erreichte die Nachricht schließlich auch die breite Öffentlichkeit.

Manchmal glauben wir, wir könnten den Sonnenwind mit eigenen Augen sehen. Dann nämlich, wenn wir das faszinierende Schauspiel der Sonnenkorona betrachten. Meist geht sie zwar neben der strahlenden Helligkeit der Sonnenoberfläche unter. Während einer totalen Sonnenfinsternis ist sie jedoch die beeindruckendste Erscheinung überhaupt. Von der Sonne wegführende Strahlen verzieren die Korona dann wie ein Ornament. Sie kommen aus den aktiven Regionen der Sonne, aus denen die langsameren Ströme des Sonnenwinds stammen. Die Quellen des schnellen Sonnenwinds sind »Löcher« in der Korona. Röntgenbeobachtungen von Raketen und Satelliten haben gezeigt, dass diese Zonen dunkel erscheinen, weil dort ein Großteil des Sonnengases weggeblasen wird. Die koronalen Löcher sind also von ihrer Lage her mit den dunklen Bereichen der Korona identisch. Der eigentliche Sonnenwind ist jedoch für das menschliche Auge unsichtbar.

Seit wir von seiner Existenz wissen, kennen wir auch die von ihm ausgehenden Gefahren. Ohne den Schutz des Erdmagnetfelds würde er uns bedrohlich um die Ohren pfeifen: Energiereiche atomare Teilchen würden die Erde bombardieren – mit fatalen Folgen für das Leben. Tatsächlich aber werden die Partikel vorher vom Magnetfeld abgelenkt.

Mit der Entdeckung der Van Allen'schen Strahlungsgürtel lieferte der Satellit Explorer 1 im Jahr 1958 den ersten Beweis für einen magnetischen Schutzschirm der Erde. Denn diese teilen den Sonnenwind, leiten ihn um die Erde herum und lassen ihn im Windschatten der Erde in einem langen Schwanz auslaufen (siehe Grafik Seite 93). Die Magnetosphäre, vom Sonnenwind gestaucht und gezerrt, gewährt uns Schutz vor dem Sturm und hilft, aus unserer Erde ein »kosmisches Shangri-La« zu machen.

Mitreißendes Magnetfeld

Doch der Sonnenwind hat auch sein Gutes, denn er schützt uns vor einem noch mächtigeren Sturm aus dem All. Energiereiche kosmische Strahlen, die irgendwo in der Milchstraße entstehen, dringen unaufhörlich in unser Planetensystem ein. Der Wind unserer Sonne aber bremst sie ab, was man auch beweisen kann: Steigt nämlich die Zahl der Sonnenflecken und damit die solare Aktivität sowie die Intensität des Sonnenwinds alle elf Jahre an, so nimmt in gleichem Maß die Stärke der kosmischen Strahlung ab. Und zwar nicht nur auf der Erde, wie detaillierte Beobachtungen des Physikers John A. Simpson ergaben, sondern im gesamten Planetensystem. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Partikel des Sonnenwindes einen Teil des solaren Magnetfeldes mit sich reißen. Dieses Magnetfeld ist es, das die kosmische Strahlung stoppt. Sie wird bereits an der so genannten Heliopause, der äußersten Grenze unseres Sonnensystems – 130- bis 150-mal so weit von uns entfernt wie die Sonne – aufgehalten.

Jenseits dieser Grenze findet der Sonnenwind in der kosmischen Strahlung seinen Meister. Innerhalb unseres Planetensystems schützt er uns jedoch vor Stürmen, die sich in fernen Gefilden des Kosmos zusammenbrauen. <<

E. C. Krupp ist Direktor des Griffith Observatory in Los Angeles und schreibt regelmäßig für ASTRONOMIE HEUTE.

KLEINANZEIGEN

ANZEIGE

ANZEIGE

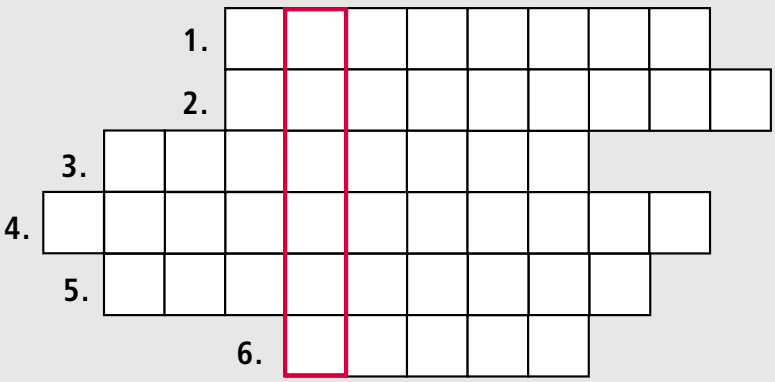
ANZEIGE

ANZEIGE

ANZEIGE

PREISRÄTSEL

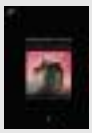
Gewinnen Sie mit ASTRONOMIE HEUTE!



1. Ebene, in der die Bahn der Erde um die Sonne liegt.
2. Eigenname des Hauptsterns der Jagdhunde.
3. Wellenlängenbereich, für den das vierte Weltraumgroßteleskop der Nasa ausgelegt ist.
4. Bezeichnung für Raumfahrer aus China.
5. Lateinischer Name für die Maßeinheit, die die scheinbare Helligkeit von Objekten beschreibt.
6. Astronom am Mount Palomar Observatory und Entdecker vieler Planetarischer Nebel.

1. Preis: Astrolabium

Mit dem Astrolabium holen Sie sich unser Sonnensystem in Ihr Wohnzimmer. Das Designobjekt im Wert von € 89,– aus Edelstahl, Draht und Holz symbolisiert die Planetenkonstellationen (ø 40 cm).



2. Preis: ein Exemplar des Bildbandes »Geheimnisvolles Universum – Europas Astronomen entschleiern das Weltall« im Wert von 49,90 €, siehe Rezension auf S. 88.

3. Preis: ein Mondfilter für 1,25-Zoll-Okulare, grau-grün mit Kunststofffassung, im Wert von 20 €. Mit freundlicher Unterstützung von Astronomie Service Bremen, www.astronomie-bremen.de

Bitte schicken Sie das rot umrandete Lösungswort per E-Mail an die Adresse preisraetsel@astronomie-heute.de oder auf einer Postkarte an Spektrum der Wissenschaft, Stichwort »Astronomie Heute 2/2003«, Postfach 10 48 40, D-69038 Heidelberg. Einsendeschluss: 18. Mai 2003. Bei mehreren richtigen Lösungen entscheidet das Los. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Die Gewinner des letzten Preisrätsels waren bei Redaktionsschluss noch nicht bekannt.

ASTRONOMIE HEUTE-Abonnenten können private Kleinanzeigen mit insgesamt bis zu fünf Zeilen pro Ausgabe kostenlos schalten. Bei Einsendung von Kleinanzeigen bitte stets Ihre Kundennummer angeben, die Sie Ihrer Abonnementrechnung oder dem Adressträgerblatt entnehmen können. Bitte beachten Sie: Ist der verfügbare Platz in einer Ausgabe vergeben, behält sich die Redaktion das Recht vor, später eintreffende Anzeigen in die nächstverfügbare Ausgabe zu verschieben.

Für Nicht-Abonnenten gelten folgende Preise:

Anzahl Zeilen	**priv. Kleinanz.**	**gewerbl. Kleinanz.**
bis zu drei Zeilen	22,– €	45,– €
jede weitere Zeile	5,– €	8,– €

Bitte senden Sie Ihre Kleinanzeige an:
Spektrum der Wissenschaft,
Redaktion Astronomie Heute
Slevogtstr. 3–5
D-69126 Heidelberg
Fax: (06221) 9126-716
E-Mail: kleinanzeigen@astronomie-heute.de.
Einsendeschluss: Sechs Wochen vor Erscheinen. Ist der verfügbare Platz vergeben, so erfolgt der Abdruck im nächsten Heft. Eine Zeile enthält durchschnittlich fünfzig Zeichen. Alle Preise zuzüglich gesetzlicher Mehrwertsteuer. Die Grundgebühr pro Anzeige ist bereits eingerechnet. Gleichzeitig erhalten Sie einen Eintrag in unserer Online-Kleinanzeigendatenbank (www.astronomie-heute.de) bis Ende August.

ANZEIGE

ANZEIGE

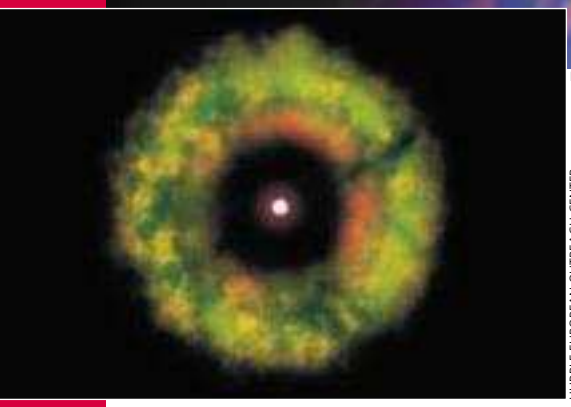
ANZEIGE

VORSCHAU

Nächstes Heft ab 12. Juni 2003

MARK GARLICK

Kosmische Strahlen bombardieren in jeder Sekunde den atmosphärischen Schutzschild unserer Erde. Die Analyse ihrer Trümmer gewährt den Astrophysikern einen Blick auf die heftigsten Prozesse im ganzen Universum.



HUBBLE EUROPEAN OUTREACH CENTER

Sakurais Objekt ist ein Stern, der der gängigen Theorie der Sternentwicklung widerspricht. Denn er vergeht nicht als Supernova, sondern schöpft in einzigartiger Weise neue Lebensenergie.

Testreport: TAL-100R. Die Linsenteleskope aus Sibirien haben eine eingefleischte Fangemeinde. ASTRONOMIE HEUTE stellt den 4-Zoll-f/10-Refraktor vor.

S&T / CRAIG MICHAEL UTTER

»Epsilon Eridani« steht für die Suche nach bewohnbaren Welten und intelligentem Leben im All. ASTRONOMIE HEUTE bringt Sie auf den neuesten Stand!

LYNETTE COOK

IMPRESSUM

Chefredakteur: Dr. habil. Reinhard Breuer (v.i.S.d.P.)
Redaktion: Dr. Oliver Dreissigacker (dre), Stephan Fichtner (sf)
Ständige Mitarbeit: Thilo Körkel (tk)
Artdirector/Layout: Karsten Kramarczik
Produktentwicklung: Dr. Carsten Könneker
Schlussredaktion: Christina Peiberg, Sigrid Spies
Bildredaktion: Alice Krüßmann (Ltg.), Gabriela Rabe
Redaktionsassistenz: Eva Kahlmann, Ursula Wessels
Cartoons: Sidney Harris
Redaktionsanschrift: Postfach 10 48 40, D-69038 Heidelberg, Tel.: (06221) 9126-711; Fax: (06221) 9126-729; E-Mail: ah@spektrum.com
Übersetzungen in diesem Heft: Dr. Thorsten Dambeck, Corinna Karow, Susanne Lindauer, Dr. Dörte Mehlert, Dr. Rainer Riemann, Dr. Cecilia Scorza de Appl, Dr. Inge Thiering, Ralph Wondraschek, Uli Zehndbauer.
Herstellung: Natalie Schäfer, Tel.: (06221) 9126-733
Marketing: Annette Baumbusch (Ltg.), Tel.: (06221) 9126-741; E-Mail: marketing@spektrum.com
Einzelverkauf: Anke Walter (Ltg.), Tel. (06221) 9126-744
Verlag: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 10 48 40, D-69038 Heidelberg

Hausanschrift: Slevogtstraße 3–5, D-69126 Heidelberg, Tel.: (06221) 9126-600, Fax: (06221) 9126-729
Geschäftsleitung: Dean Sanderson, Markus Bossle
Leser-Service: Tel.: (06221) 9126-743, E-Mail: marketing@spektrum.com
Vertrieb und Abonnementverwaltung: Spektrum der Wissenschaft, Boschstraße 12, D-69469 Weinheim, Tel.: (06201) 606150, Fax: (06201) 606194
Bezugspreise: Einzelheft: € 6,50, Jahresabonnement Inland (6 Ausgaben): € 34,80, Jahresabonnement Ausland: € 37,80, Jahresabonnement Studenten Inland (gegen Studiennachweis): € 30,00, Jahresabonnement Studenten Ausland (gegen Studiennachweis): € 33,00. Zahlung sofort nach Rechnungserhalt. Konten: Deutsche Bank, Weinheim, 58 36 43 202 (BLZ 670 700 10); Postbank Karlsruhe 13 34 72 759 (BLZ 660 100 75). Die Mitglieder der Vereinigung der Sternfreunde e.V. (VdS) erhalten ASTRONOMIE HEUTE zum gesonderten Mitgliedsbezugspreis.
Anzeigen/Druckunterlagen: VMS Limperg Verlags- & MedienService, Sudetenstraße 16, D-63486 Bruchköbel; Tel.: (06181) 72904; Fax: (06181) 72984; E-Mail: f.limperg@limperg.de
Anzeigenpreise: Zurzeit gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 1 vom Dezember 2002.
Gesamtherstellung: Westermann Druck GmbH, D-38104 Braunschweig

© Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, D-69126 Heidelberg.
Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlags reproduziert oder in eine von Datenverarbeitungsmaschinen verwendbare Form oder Sprache übertragen oder übersetzt werden. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

ISSN 1610-8728
http://www.astronomie-heute.de

Sky Publishing Corporation,
49 Bay State Road, Cambridge, MA 02138-1200
President/Publisher: Susan B. Lit
Editor in Chief: Richard Tresch Fienberg, Ph.D.
Marketing Director: Marcy L. Dill

Die Übersichts- und Ausschnittssternkarten in der Rubrik »Skyline« wurden mit Software und Designelementen von Roger W. Sinnott und Steven Simpson erstellt.

Wir übernehmen keine Haftung für die Inhalte externer Webseiten. Für den Inhalt der angegebenen Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich.